МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

# Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету



*Випуск 9, том 1*

Електронне наукове фахове видання

Мелітополь – 2019 р.

УДК 631.3
Т 13
Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету [Електронний ресурс]. Мелітополь: ТДАТУ імені Дмитра Моторного, 2019. Вип. 9, том 1. URL: http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1
**ISSN 2220-8674**
Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 2 від 24 вересня 2019 р.

Представлені результати досліджень вчених у галузях галузевого машинобудування, енергетики, електротехніки, електромеханіки, харчових технологій, комп'ютерних наук та інформаційних технологій.

Видання призначене для наукових працівників, викладачів, аспірантів, інженерно-технічного персоналу і студентів, які спеціалізуються у відповідних або суміжних галузях науки та напрямках виробництва.

**Реферативні бази:** Crossref,Google Scholar, eLibrary, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

Редакційна колегія:

**Головний редактор**
Кюрчев В. М. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)
**Заступник головного редактора**
Надикто В. Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)
**Відповідальний секретар**
Діордієв В. Т. - д.т.н., проф. (Україна)
**Технічний секретар**
Кашкарьов А. О. - к.т.н., доц. (Україна)

BeloevHristo - д.т.н., проф. (Болгарія)
IvanovsSemjons - PhD (Latvia)
JoseItaloCortez - PhD (Mexico)
Нукешев Саяхат - д.т.н., проф. (Казахстан)
Прищепов М.А. - д.т.н., доц. (Білорусь)
Постолатій В. М. - д.х.т.н. (Молдова)
Шингисов А. У. - д.т.н., проф. (Казахстан)
Волошина А.А. – д.т.н., доц. (Україна)
Гнатушенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)
Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)
Дейниченко Г. В. - д.т.н., проф. (Україна)
Дідур В. А. - д.т.н., проф. (Україна)
Євлаш В. В. - д.т.н., проф. (Україна)
Караєв О. Г. - д.т.н., с.н.с.(Україна)
Кузнєцов М. П. - д.т.н., с.н.с. (Україна)
Леженкін О. М. - д.т.н., проф. (Україна)
Лисиченко М. Л. - д.т.н., проф. (Україна)
Малкіна В. М. - д.т.н., проф. (Україна)
Мілько Д. О. - д.т.н., в.о. проф. (Україна)
Назаренко І. П. - д.т.н., проф. (Україна)
Паламарчук І. П. - д.т.н., проф. (Україна)
Панченко А. І. - д.т.н., проф. (Україна)
Пилипенко Л. М. - д.т.н., проф. (Україна)
Погребняк А. В. - д.т.н., доц. (Україна)
Пріс О. П. - д.т.н., проф. (Україна)
Сердюк М. Є. - д.т.н., доц. (Україна)
Соболь О. М. - д.т.н., проф. (Україна)
Тарасенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)
Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)
Гавриленко Є. А. - к.т.н., доц. (Україна)
Кюрчев С. В. - к.т.н., проф. (Україна)
Квітка С. О. - к.т.н., доц. (Україна)
Лендєл Т. І. - к.т.н., (Україна)
Лясковська С. Є. - к.т.н., доц. (Україна)
Самойчук К. О. - к.т.н., доц. (Україна)
Сидоренко О. С. - к.т.н., доц. (Україна)
Скляр О. Г. - к.т.н., проф. (Україна)
Строкань О. В. - к.т.н., доц. (Україна)
Мацулевич О. Є. - к.т.н., доц. (Україна)
Холодняк Ю. В. - к.т.н. (Україна)
Яковлєв В. Ф. - к.т.н., проф. (Україна)

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Назаренко І.П.

Адреса редакції: ТДАТУ
Просп. Б. Хмельницького 18,
м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 Україна
**© Таврійський державний агротехнологічний університет ім. Д. Моторного, 2019.**

# ЗМІСТ

*ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ*

**МАШИНИ І ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА**

*1.* **ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**
Журавель Д.П., д.т.н. https://orcid.org/0000-0002-9611-2781
*Таврійський державний агротехнологічній університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-1**

*2.* **ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРЕГАТІВ ОЧИЩЕННЯ МАСТИЛА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ**
Дашивець Г.І., к.т.н., https://orcid.org/0000-0003-2612-6077
Новік О.Ю., інженер, https://orcid.org/0000-0003-0184-9172
Паніна В.В., к.т.н. https://orcid.org/0000-0001-9623-516X
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-2**

*3.* **ТЕОРЕТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОТКІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ГІЛОК З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ**
Кравченко В. В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0003-2334-0705
Войтік А. В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-8196-3102
Головатюк А. А., к.с-г.н. https://orcid.org/0000-0002-2130-106X
*Уманський національний університет садівництва*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-3**

*4.* **ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ОСТЕКЛОВАННЫХ ПЕЛЛЕТ – ЗАЛОГ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**
Бунецкий В. А.[1],
Бондаренко М. В., к. т. н.[2]
*[1] Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко*
*[2] Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-4**

*5.* **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ ІДЕНТИЧНОСТІ ТА АДЕКВАТНОСТІМАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ**
Дюжаєв В.П., к.т.н.,
Бондаренко Л.Ю., к.т.н. https://orcid.org/0000-0001-5858-7375
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-5**

*ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА*

**ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ**

*6.* **THE AUTOMATED METHOD OF CHECKING THE TRACK CIRCUITS PARAMETERS**
Serdiuk T., PhD, https://orcid.org/0000-0002-2609-4071
Serdiuk K., student
*Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*
Nikolenko A., PhD, http://orcid.org/0000-0003- 3808-4249
Kuznetsov V., PhD http://orcid.org/0000-0002-8169-4598
*National metallurgical academy of Ukraine*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-6**

*7.* **PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FOR REGENERATION OF ANIMAL INJURED BONE TISSUE**
Orel O., PhD, associate professor https://orcid.org/0000-0002-6436-2305
Orel M.
*Tavria State Agrotechnological University*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-7**

*8.* **PNEUMATIC ENERGY BATTERY FOR PRIVATE SOLAR POWER**
Kashkarov A., PhD, https://orcid.org/0000-0002-6212-2615
Sabo A., PhD, https://orcid.org/0000-0002-7948-6933
Koval S.
*Tavria State Agrotechnological University*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-8**

*9.* **АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ**
Кунденко М. П., д. т. н., https://orcid.org/0000-0002-5841-4367
Єгорова О. Ю., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-8593-1557
Бородай І. І., к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-1045-4076
Кунденко О. М., аспірант,
Шинкаренко І. М., інженер https://orcid.org/0000-0002-1318-3323
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-9**

*10.* **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ СОКУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**
Ляшенко С. О., д.т.н. https://orcid.org/0000-0001-8304-9309
Кісь В. М., к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-7014-4873
Фесенко А. М., https://orcid.org/0000-0002-3950-3604
Ляшенко О.С., к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-0146-3934
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка,*
*Харківський національний університет радіоелектроніки.*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-10**

*11.* **ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ ДО ПРИМІЩЕНЬ ТА НЕСИСТЕМНИХ УТЕПЛЕНЬ**
Ганжа А. М, д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-3967-2421
Марченко Н. А., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-9889-3713
Семененко Л. В,
*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-11**

12. **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВУВАННЯ ВОДИ З КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ БАГАТОЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ**
Назаренко І. П., д.т.н., https://orcid.org/0000-0001-6365-6777
Діденко О. В., аспірант
Кушлик Р. В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-7560-9406
Дубініна С. В., інженер https://orcid.org/0000-0002-2029-8989
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-12**

13. **ПЕРЕДПОСІВНА СТИМУЛЯЦІЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ**
Червінський Л. С., д. т. н., https://orcid.org/0000-0001-7215-2474
Пашковська Н. І., аспірант
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-13**

14. **РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОВИТРАТ РУЧНОЇ ПРАЦІ В ТВАРИННИЦТВІ**
Чміль А. І., д. т. н. https://orcid.org/0000-0001-9148-3172
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-14**

15. **РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВОДОКОМБІКОРМОВОЇ СУМІШІ ГІДРОТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВОГО СВИНАРСТВА ПРИ ЗМІНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРМУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ**
Лисиченко М.Л., д.т.н. http://orcid.org/0000-0003-6554-3992
Хандола Ю.М., к.т.н. http://orcid.org/0000-0001-9158-2955
Назаренко О.Ю., к.т.н. http://orcid.org/0000-0002-5567-9140
Сухін В.В., інж. http://orcid.org/0000-0002-6554-3992
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-15**

16. **ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ**
Богом'я В. І., д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-4403-3130
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
Тимощук О. М., д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-3684-6182
*Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ*
Дакі О. А., к. філ. н. https://orcid.org/0000-0003-3932-462X
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-16**

17. **ХАРАКТЕР БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ**
Кузнєцов М. П.[1], д. т. н. https://orcid.org/0000-0002-0497-7439
Лисенко О. В.[2], к. т. н. https://orcid.org/0000-0001-7085-7796
[1]*Ін-т відновлюваної енергетики НАН України, nik_ku@ukr.net*.
[2]*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-17**

18. **АКУСТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ РОСЛИННИХ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ**
Яковлєв В. Ф., к. т. н. https://orcid.org/0000-0001-5261-4432
*Сумський національний аграрний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-18**

19. **АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГОСПОЖИВАЮЧИХ АГРЕГАТІВ**
Толбатов А. В., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-9785-9975
Толбатов В. А., к. т .н. https://orcid.org/0000-0002-6564-9658
Яковлєв В. Ф., к. т. н. https://orcid.org/0000-0001-5261-4432
В'юненко О. Б., к. е. н. https://orcid.org/0000-0002-8835-0704
Смоляров Г. А., к. е. н. https://orcid.org/0000-0001-6917-6950
*Сумський національний аграрний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-19**

20. **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ МЕТАЛОВИРОБІВ**
Коваленко Л. Р., к. т. н.,
Коваленко О. І., к. т. н.
*Запорізький національний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-20**

21. **АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МАГІСТРАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 330-750 КВ**
Коваленко О. І., к. т. н.,
Коваленко Л. Р., к. т. н.
*Запорізький національний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-21**

22. **АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПЛИВУ ЕМВ НА ПРОЦЕС ЗБЕРІГАННЯ ЯБЛУК**
Бородай І. І., к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-1045-4076
Кунденко М. П., д. т. н., https://orcid.org/0000-0002-5841-4367
Єгорова О. Ю., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-8593-1557
Єгоров О. Б., к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-2599-1624
Шинкаренко І. М., інженер https://orcid.org/0000-0002-1318-3323
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-22**

23. **ВИБІР МЕТОДУ І ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОКА**
Кабалдов Ю. К., аспірант,
Лобода О. І., к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1532-3366
*Таврійський Державний Агротехнологічний Університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-23**

24. **ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ І ПОКАЗНИКА РОЗРЯДЖЕННЯ ОКРЕМОГО НАСІННЯ**
Чебанов А. Б., к. т. н., https://orcid.org/0000-0002-8457-0574
Чебанова Ю. В, інж. https://orcid.org/0000-0001-8748-9627
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-24**

25. **ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА РЕСУРС ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТОКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ**
Вовк О. Ю., к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-0154-6972
Квітка С. О., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-9234-9274
Дідур В. А., д.т.н. https://orcid.org/0000-0002-3491-0059
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-25**

26. **ВПЛИВ КОРЕГУВАЛЬНИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ НА МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ СПОСТЕРІГАЧЕМ**
Стьопкін В. В., к. т. н. https://orcid.org/0000-0001-5727-8343
Ніколенко А. В., к. т .н. https://orcid.org/0000-0003-3808-4249
*Національна металургійна академія України*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-26**

*27.* **ДАТЧИК ЗНОСУ ЩІТОК КОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕРОМЕТРУ**
Лобода О. І., к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1532-3366
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тодоріко О. М.,
Череватенко Л.М.
*ВСП "Новокаховський коледж ТДАТУ"*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-27**

*28.* **ДИНАМІКА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДАЗ НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ**
Білюк І. С., к. т. н.,
Бугрім Л. І., к. т. н.,
Гаврилов С. О., к. т. н.,
Кириченко О. С., к. т. н.,
Фоменко А. М., доцент,
Шарейко Д. Ю., к. т. н.
*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-28**

*29.* **ДІАГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ АВАРІЙНИХ СТАНІВ СИЛОВИХ БЛОКІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**
Кулагін Д.О., к.т.н., http:// orcid.org/0000-0003-3610-4250
Чернецький Б.С., аспірант https://orcid.org/0000-0002-3730-7247
*Запорізький національний технічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-29**

*30.* **ДІАГНОСТУВАННЯ ЗА СТРУМОМ, ЯК МЕТОД ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ**
Нестерчук Д. М., к. т. н. https://orcid.org/0000-0003-1995-9564
Курашкін С. Ф., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-3361-9489
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-30**

*31.* **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ**
Стьопін Ю.О. к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-2248-0573
Гулевський В.Б к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1434-9724
Борохов І.В.к.т.н https://orcid.org/0000-0003-3894-5256
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-31**

*32.* **ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНООЧИСНОГО АГРЕГАТУ**
Постнікова М. В., к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-2025-6199
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-32**

*33.* **ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВИСОКОВОЛОГОЇ ЯБЛУЧНОЇ СИРОВИНИ**
Савойський О. Ю., аспірант https://orcid.org/0000-0002-6459-4931
Яковлєв В. Ф., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-5261-4432
Сіренко В. Ф., к. т. н. https://orcid.org/0000-0003-0831-6563
*Сумський національний аграрний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-33**

*34.* **ЗАКОНИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ В УМОВАХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ТА КООРДИНАТНИХ ЗБУРЕНЬ**
Островерхов М. Я., д.т.н. https://orcid.org/0000-0002-7322-8052
*КПІ ім. Ігоря Сікорського*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-34**

*35.* **ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА КОРЕНЕВУ СИСТЕМУ КВАСОЛІ**
Сухін В. В., інж. https://orcid.org/0000-0002-6554-3992
Лисиченко М. Л., д.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1611-6705
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-35**

*36.* **ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО: КОНСТРУКЦІЯ І ПАРАМЕТРИ**
Кушлик Р. Р., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-0922-8496
Кушлик Р. В., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-7560-9406
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-36**

*37.* **МЕТОД ОТРИМАННЯ МЕТИЛОВИХ ЕФІРІВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ З ЖИРІВ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ**
Постол Ю. О., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-0749-3771
Стручаєв М. І., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-8891-4960
Гулевський В. Б., к. т. н. https://orcid.org/0000-0003-1434-9724
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-37**

*38.* **МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ**
Мищенко К. В.,
Паталах Д. Г.,
Набокова О. В.,
Тиховод С. М., д. т. н. https://orcid.org/0000-0003-0748-1735
*Запорожский национальный технический университет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-38**

*39.* **ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ**
Єгоров О. Б.[1], к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-2599-1624
Єгорова О. Ю. [2], к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-8593-1557
Кунденко М. П. [2], д. т. н. https://orcid.org/0000-0002-5841-4367
[1]*Харківський національний університет міського господарства імені О. Бекетова*
[2]*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-39**

*40.* **ОЦІНКА РІВНЯ ДЕФЕКТНОСТІ ШИХТОВАНИХ МАГНІТОПРОВОДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ВИСОКОЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ**
Чумак В. В., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-8401-7931
Тимощук О. Л., к. т. н., https://orcid.org/0000-0003-1863-3095
Ігнатюк Є. С., магістр https://orcid.org/0000-0002-4675-8728
Стулішенко А. С., магістр https://orcid.org/0000-0001-9982-9246
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-40**

*41.* **ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ**
Попова І. О., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-5429-8269
Попрядухін В. С., к. т. н. https://orcid.org/0000-0001-9845-6177
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-41**

*42.* **ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**
Радько І. П., к. т. н., https://orcid.org/0000-0002-4235-3969
Наливайко В. А., к. т. н., https://orcid.org/0000-0002-6297-9045
Окушко О. В., к. т. н., https://orcid.org/0000-0002-1894-5294
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-42**

*43.* **ПОРІВНЯННЯ СИНХРОННИХ МАШИН ГІБРИДНОГО ЗБУДЖЕННЯ З МАШИНАМИ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗБУДЖЕННЯ**
Чумак В.В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-8401-7931
Монахов Є. А., інженер, https://orcid.org/0000-0001-8408-8051
Стулішенко А. С., інженер https://orcid.org/0000-0001-9982-9246
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-43**

*44.* **ПОТЕНЦІОМЕТРІЯ, КОНДУКТОМЕТРІЯ І РЕФРАКТОМЕТРІЯ ЯК МЕТОДИ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ЗОНАХ ВІДПОЧИНКУ ЛЮДЕЙ**
Борисов О. О., аспірант https://orcid.org/0000-0002-1053-2989
Кофанова О. В., д. пед. н., к. хім. н. https://orcid.org/0000-0002-9851-6392
*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-44**

*45.* **ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ**
Діордієв В.Т., д.т.н., https://orcid.org/0000-0001-8552-8215
Кашкарьов А. О., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-6212-2615
Семендяєв О. Є. https://orcid.org/0000-0002-2520-9121
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-45**

*46.* **РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ**
Вороновский И.Б., к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-2489-6481
*Таврический государственный аграрный университет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-46**

*47.* **РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСІВ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РОСЛИННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ КАРТОПЛІ**
Сілі І. І., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-6603-2174
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-47**

*48.* **РОЗВИТОК ОСОБИСТИХ СЕЛЯНСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ: НЕЗАЛЕЖНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**
Василенко О. О., к.т.н.,
Геліх А. О., інженер,
Філон А. М., інженер
*Сумський національний аграрний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-48**

*49.* **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ**
Гулевский В.Б., к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1434-9724
*Таврический Государственный Агротехнологический Университет*
Кузнецов И.О., к.т.н.
*DO2 Control*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-49**

*50.* **СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АПК УКРАЇНИ**
Павлов Г. О. https://orcid.org/0000-0003-2489-6481
Кулагін Д. О., к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-3610-4250
*[1] АТ «МОТОР СІЧ»*
*[2] Запорізький національний технічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-50**

*51.* **ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПАРАМЕТРИ – КРИТЕРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ**
Стручаєв М.І., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-8891-4960
Постол Ю.О. к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-0749-3771
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-51**

*52.* **УМОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ОБРОБКИ КАЛАМУТНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ РІДИН**
Жила В. І., к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-5636-794X
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-52**

*53.* **ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗІ ВСИПНИМИ ОБМОТКАМИ ПРИ ТЕПЛОВОЛОГОМУ СТАРІННІ**
Чумак В.В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-8401-7931
Монахов Є. А. асистент https://orcid.org/0000-0001-8408-8051
Вишневський О.В.*, аспірант https://orcid.org/0000-0001-7814-9030
Стулішенко А.С., інженер https://orcid.org/0000-0001-9982-9246
*НТУ України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-53**

**ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ**

**ТЕХНОЛОГІЯ КОНСЕРВОВАНИХ І ОХОЛОДЖЕНИХ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ**

*54.* **ВИБІР СОРТУ ЧЕРЕШНІ З ОПТИМАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ ПАРАМЕТРІВ ЗА МЕТОДОМ БАГАТОКРІТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ**
Іванова І. Є., к. с.-г. н., https://orcid.org/0000-0003-2711-2021
Сердюк М. Є., д. т. н., https://orcid.org/0000-0002-6504-4093
Герасько Т. В., к. с.-г. н., https://orcid.org/0000-0002-8477-7559
Білоус Е. С., асистент, https://orcid.org/0000-0002-5056-5013
Кривонос І. А. https://orcid.org/0000-0001-7079-5150
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-54**

*55.* **ВПЛИВ РОЗЧИНІВ НАНОМЕТАЛІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ПЛОДІВ ГРУШІ**
Сердюк М. Є., д.т.н., https://orcid.org/0000-0002-6504-4093
Кюрчева Л. М. к.с.-г.н. https://orcid.org/0000-0002-8225-3399
Андрущенко М. В., к.с.-г.н. https://orcid.org/0000-0002-7233-4339
Жукова В. Ф. к.с.-г.н. https://orcid.org/0000-0002-1963-659X
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-55**

*56.* **ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖЕЛЕ, ЗБАГАЧЕНОГО АСКОРБІНОВОЮ КИСЛОТОЮ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ**
Євлаш В.В. д.т.н., проф., https://orcid.org/0000-0002-8525-8937
Пілюгіна І.С. к.т.н., http://orcid.org/0000-0001-6159-3258
Железняк З.В. здобувач* https://orcid.org/0000-0003-3238-3926
*Харківський державний університет харчування та торгівлі*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-56**

*57.* **ЗБЕРІГАННЯ ЗЕЛЕНІ КОРІАНДРУ *(CORIANDRUM SATIVUM L.)* В ЖИВИЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**
Прісс О.П., д.т.н.,професор, https://orcid.org/0000-0002-6395-4202
Сухаренко О.І., к.с-г.н., доцент, https://orcid.org/0000-0002-7875-1766
Коляденко В.В., інженер, https://orcid.org/0000-0002-0949-1374
Нестеров Ю.Ю, магістрант
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-57**

*58.* **ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭПИФИТНОЙ МИКРОФЛОРЫ ЗАМОРОЖЕННОЙ И ДЕФРОСТИРОВАННОЙ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ**
Загорко Н. П., к. т. н., http://orcid.org/0000-0003-4828-5343
Кулик А. С., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-5403-3084
Гаприндашвили Н. А., к. с.-г. н., https://orcid.org/0000-0002-0671-6574
Кюрчева Л. Н., к. с.-г. н. http://orcid.org/0000-0002-8225-3399
*Таврический государственный агротехнологический университет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-58**

*59.* **РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ І ТЕХНОЛОГІЇ КОНДИТЕРСЬКИХ ПРЯНИКОВИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ “МАГНЕТОФУД”**
Цихановська І.В. к.х.н. https://orcid.org/0000-0002-9713-9257
*Українська інженерно-педагогічна академія*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-59**

*60.* **РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ М’ЯСНИХ КОНСЕРВІВ З ГРИБАМИ**
Кулик А. С., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-5403-3084
Бандура І. І., к. с.-г. н. https://orcid.org/0000-0001-7835-3293
Сердюк М. Є., д. т. н., https://orcid.org/0000-0002-6504-4093
Севастьянович О. С.,
Булгаков І. В.,
Гапріндашвілі Н. А., к. с.-г. н. https://orcid.org/0000-0002-0671-6574
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-60**

***КОМП'ЮТЕРНІ НАУКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ***

**ПРИКЛАДНА ГЕОМЕТРІЯ, ІНЖЕНЕРНА ГРАФІКА**

*61.* **МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РИЗИКУ НА КОМБІКОРМОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**
Соболь О.М., д.т.н., https://orcid.org/0000-0002-7133-6519
Тютюник В.В., д.т.н., https://orcid.org/0000-0001-5394-6367
Ляшевська О.І. , канд. держ. упр. https://orcid.org/0000-0002-1469-4141
*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*
Соболь В.М. , к.т.н. https://orcid.org/0000-0003-1611-5534
*Харківський національний університет будівництва та архітектури*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-61**

*62.* **ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ БОМБОСХОВИЩ**
Мартин Є.В., д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-4508-313X
*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,*
Лясковська С. Є., к. т. н. https://orcid.org/0000-0002-0822-0951
Тарапата Н.В. https://orcid.org/0000-0001-9095-7057
*Національний університет «Львівська політехніка»*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-62**

*63.* **АЛГОРИТМ ЗГУЩЕННЯ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНИХ КРИВИХ НА ОСНОВІ ТОТОЖНОСТЕЙ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ВІДСУТНОСТІ ОСЦИЛЯЦІЇ**
Щербина В.М., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-0616-8010
Пихтєєва І.В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-7484-1759
Бондаренко Л.Ю., к.т.н. https://orcid.org/0000-0001-5858-7375
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-63**

*64.* **ЗГУЩЕННЯ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ТА ЗАМКНЕНИХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНИХ КРИВИХ В ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ ІЗ КОРЕКЦІЄЮ ОСЦИЛЮЮЧИХ ДІЛЯНОК**
Мацулевич О.Є., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-5553-709X
Вершков О.О., к.т.н., https://orcid.org/0000-0001-5137-3235
Коломієць С.М., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-4307-0709
Щербина В.М., к.т.н. https://orcid.org/0000-0002-0616-8010
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-64**

*65.* **МЕТОДИКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ**
Гавриленко Є.А., к.т.н., http://orcid.org/0000-0003-4501-445X
Івженко О.В., к.т.н., https://orcid.org/0000-0003-1559-3825
Пихтєєва І.В., к.т.н. https://orcid.org/0000-0001-7484-1759
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-65**

*66.* **МОДЕЛЮВАННЯ ДІЛЯНКИ ОБВОДУ ІЗ МОНОТОННОЮ ЗМІНОЮ КРИВИНИ**
Гавриленко Є. А., к. т. н., http://orcid.org/0000-0003-4501-445X
Холодняк Ю. В., к. т. н. http://orcid.org/0000-0001-8966-9269
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-66**

*67.* **ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ АПРОКСИМАЦІЇ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ДПК У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ СПІРАЛЯМИ РІЗНОЇ ФОРМИ**
Щербина В. М., к.т.н., https://orcid.org/0000-0002-0616-8010
Мацулевич О. Є. к.т.н. https://orcid.org/0000-0001-5553-709X
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
**DOI:10.31388/2220-8674-2019-1-67**

**УДК 621.892** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-1**

# ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ОЦІНКИ ТРИБОТЕХНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМАЩУВАЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

**Журавель Д. П., д. т. н.** **https://orcid.org/0000-0002-9611-2781**
*Таврійський державний агротехнологічній університет*
Тел. (061)42-25-85
e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

***Анотація*** – робота присвячена обґрунтуванню кінематичних та технологічних параметрів пристрою для оцінки триботехнічних властивостей змащувальних матеріалів, а також фізико-хімічних процесів в зоні фрикційного контакту. Пристрій відповідає наступним основним вимогам: одночасна реєстрація основних параметрів пари тертя і робочого середовища; реєстрація зміни характеристик робочого середовища в процесі тертя; застосування випробовуваних зразків з малими поверхнями тертя, що дозволить безперервно реєструвати сумарний знос пари тертя в широкому діапазоні навантажень і швидкостей ковзання.

Організація контролю якості змащувальних матеріалів у сільському господарстві повинна бути спрямована на аналіз працездатності цих продуктів з точки зору їх триботехнічних властивостей.Техніко-економічні аспекти експлуатації техніки спрямовані нарозробку підприємствами конкуруючих змащувальних матеріалів, виготовлених як з відновлювальної сировини біологічного походження так і не відновлювальної мінерального походження, з метою забезпечення її надійної роботи. В зв'язку з цим зростає роль методів, засобів та способів контролю якості змащувальних матеріалів на всіх етапах експлуатації - при придбанні, зберіганні та використанні за призначенням. В статтіна підставі проведеного аналізу зроблений акцент на можливості використання результатів контролю якісних показників змащувальних середовищ при діагностуванні технічного стану енергетичних засобів. Розроблена система керування пристроєм, визначені параметри контролю та розроблені технологічні вимоги. Розроблена функціональна схема контролю і керування. На підставі схеми технологічної розроблена електрична принципова схема керування. Проведений вибір і перевірка апаратури керування і захисту. Встановлені основні фактори, які впливають на технологічний процес, функцію відгуку та рівні варіювання.

***Ключові слова*** – змащувальні матеріали, триботехнічні властивості, пристрій, сільськогосподарська техніка, надійність, засоби контролю.

**Постановка проблеми.** У світовій практиці є тенденція до розширення стендових випробувань на знос. За кордоном це в деякій

© Журавель Д. П.

мірі пов'язано з частою модифікацією машин (особливо легкових автомобілів) в результаті росту конкуренції. Але головне полягає в тому що стендові випробування науково-дослідного характеру дозволяють в короткі терміни вивчити технічні характеристики машини, перевірити правильність конструкторських рішень, вибір розрахункових схем, розмірів і параметрів деталей вузлів тертя встановити гарантований термін служби, виявити неблагополучні з точки зору міцності, зносостійкості, жорсткості і інших ознак вузли і деталі для розробки відповідних конструктивних і технологічних заходів. Стендові випробування можуть ? перевірені на елементах вузла, на вузлі, взятому окремо від агрегату і на агрегаті у зборі. У зв'язку з різноманітністю умов експлуатації багатьох машин на їх роботу впливають змінні чинники в різних поєднаннях. Стендові випробування дозволяють вивчити вплив окремих чинників на роботу вузлів і агрегатів; створити стабільний режим завантаження близько відтворюючий ті або інші експлуатаційні умови; застосовувати збільшені або прискорені навантаження в порівнянні з експлуатаційними для прискорення випробувань; реалізувати спеціальні режими вантаження для порівняльної оцінки різних конструкцій і технологій виготовлення. При терміні служби машини, що обчислюється багатьма тисячами робочих годинстендові випробування є у багатьох випадках єдиною можливістю сучасної експериментальної перевірки конструкції.

Значна економія часу і матеріальних ресурсів може бути досягнута шляхом заміни стендових досліджень лабораторними.

**Аналіз останніх досліджень.** Важливі методологічні аспекти підвищення експлуатаційної надійності вузлів і агрегатів сільськогосподарської техніки, які працюють в середовищі змащувальних матеріалів, запропонували Р.М. Матвеєвський, В. Л. Лашхі, І.А. Буяновський, В.П. Коваленко, М.А. Григорьев та інш.[1]. Однак аналіз опублікованих досліджень показав, що всі процеси, які проходять в спряженнях вузлів і агрегатів мобільної техніки багатогранні і потребують подальших досліджень з врахуванням природи, як змащувальних так і конструктивних матеріалівпар тертя[2-9].

**Формулювання цілей статті.**Обґрунтування кінематичних та технологічних параметрів пристрою для оцінки триботехнічних властивостей змащувальних матеріалів.

**Основні матеріали дослідження.**Принцип дії пристрою (рис.1)полягає в наступному: досліджуємий зразок (колодка) затискається між прижимною планкою 4 та втулкою 2. Рідина, яка

досліджується на антифрикційні властивості заливається у ємність 3. Втулка 2 насаджена на вал, який обертається за допомогою клинопасової передачі від електродвигуна 5. Зусилля на прижимну планку створює електромагніт 9.

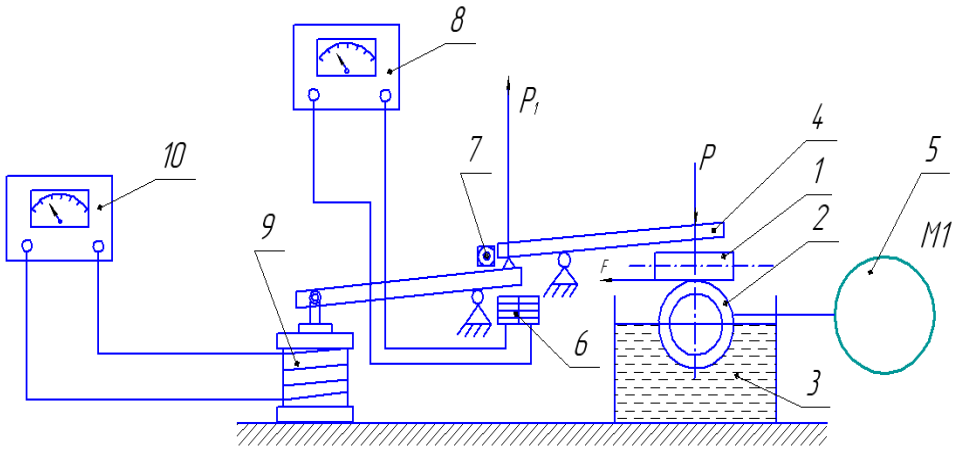



Рис.1. Функційна схема пристрою для оцінки змащувальних властивостей робочих рідин: 1- колодка; 2 – втулка; 3 – ємність з рідиною, що досліджується; 4 – прижимна планка; 5 – електродвигун; 6 – блок фотоперетворювачів; 7 – джерело світла; 8 – мікроамперметр для контролю зносу колодки; 9 – електромагніт постійного струму; 10 – амперметр для контролю зусилля на прижимну планку.

Величина зусилля контролюється за допомогою амперметра 10, який попередньо відтарований, а зміна величини зусилля виконується за допомогою лабораторного автотрансформатору. Знос колодки контролюється наступним чином. Джерело світла 7 знаходиться за прижимною планкою і на початку експерименту його світлова енергія не потрапляє до блоку фотоперетворювачів 6. По мірі зносу зразка (колодки) прижимна планка опускається і світлова енергія, що випромінюється починає потрапляти на фоторезистор. Опір фоторезистора падає і через нього починає протікати струм невеликої величини. Певній величині струму буде відповідати певна величина зносу на відтарованому мікроамперметрі 8. Також до блоку фотоперетворювачів входить і фотодіод, який на початку експерименту повністю освітлений джерелом світла 7. При повному затемненні фотодіоду спрацьовує фотореле і вимикає електродвигун 5. Це означає завершення експерименту, оскільки зразок (колодка) 1 досяг граничного зносу.

Фоторезистор в становлений на пристрої і визначає переміщення важеля, яке є результатом зносу зразка. Важіль перекриває потік світла, джерелом якого є лампа розжарювання. Зміна світлового

потоку, який реєструє фоторезистор, характеризує величину зносу зразка - $S_1$; $S_2$ – переміщення важеля є характеристикою величини перекриття світлового потоку, який реєструється фоторезистором (рис. 2).

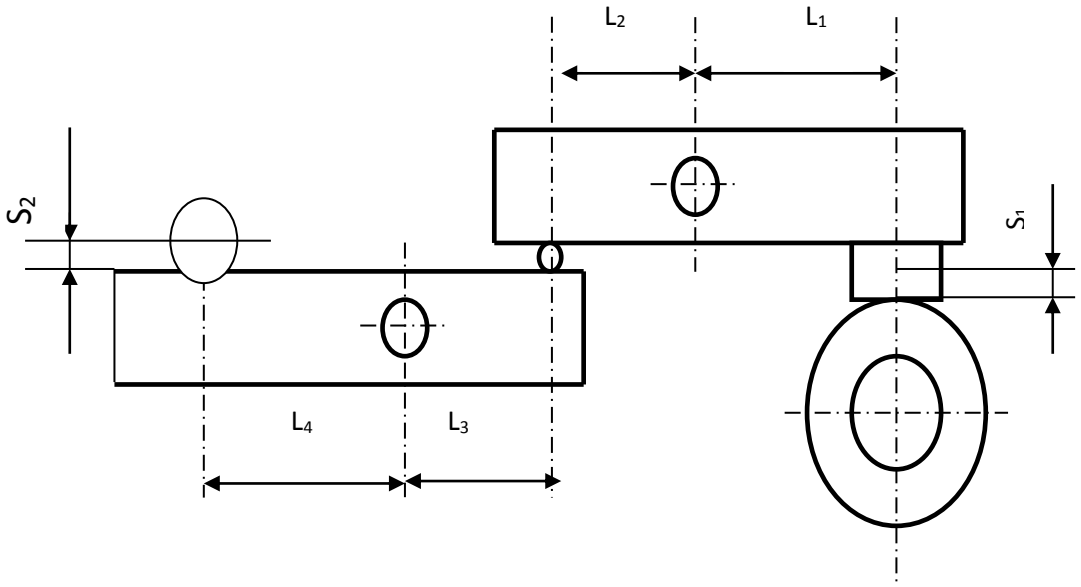



Рис. 2. Схема виміру зносу зразків в процесі зношування за допомогою фоторезистора

Згідно представленій схемі переміщення важеля, перекриваючого резистор $S_2$, залежить від довжини важелів системи і величини зносу$S_2$.

$$S_1 = S_2 \frac{L_1 \cdot L_3}{L_2 \cdot L_4}. \qquad (1)$$

де $L_1$, $L_2$, $L_3$, $L_4$ – довжина важелів,м;
$S_1$ , $S_2$ – переміщення важелів, м.

При перерахункупо довжинахважелівотримуємо:$S_1 = S_2/ 5$.

Діаметрвікналампи, що створює освітленняфоторезистора, дорівнює3мм.

Перекриттясвітлового потокулампи, що має круглий перетиндіаметром 3мм,представленонарисунках 3 і 4.

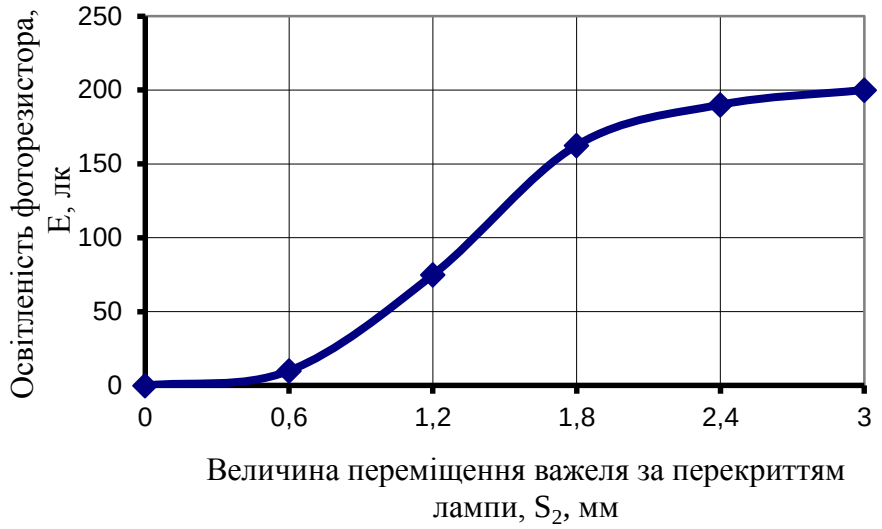



Рис.3. Залежність освітленості від величини переміщення важеля

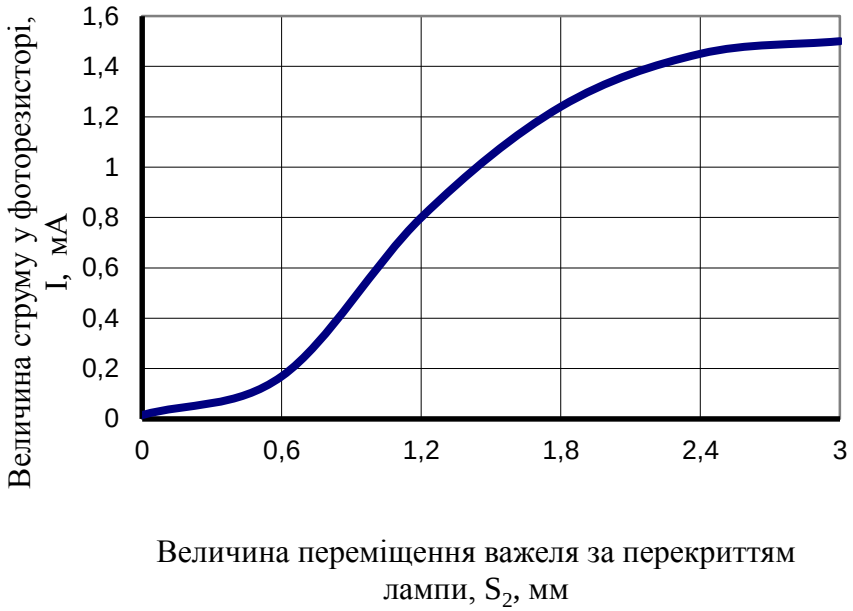



Рис.4. Залежність струму у фоторезисторі від величини переміщення важеля за перекриттям лампи

Величину зносу зразків в процесі зношування через величину перекриття світлового фоторезистора потоку важелем визначали за формулою 2. При врахуванні довжин важелів, величина зносів буде в 5 разів менше величини перекриття світлового потоку.

$$U = \frac{S_2}{5} \quad (2)$$

Такимчином, точністьвимірівзростає в п'ять разів. Повне перекриттясвітлового потокувідбудетьсяпризносі0,6 мм.

Тодізалежність величиниструмувфоторезисторіI, мАвідвеличини зносузразкаh, матиме вигляд (рис.5).

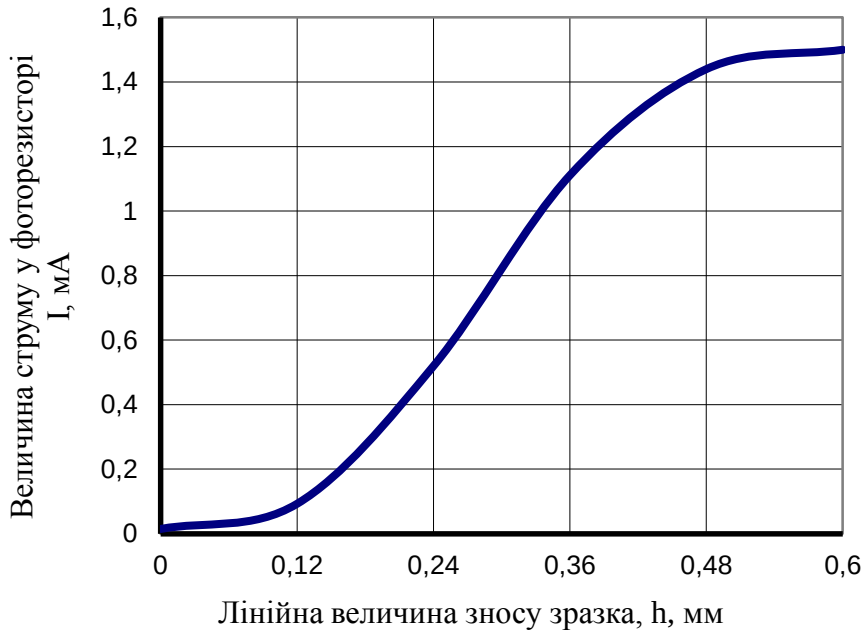



Рис.5. Залежність величини струму фоторезистора від величини лінійного зносу зразка при робочій напрузі U= 50В

Відстань між лампою і фото резистором залежить від конструктивних особливостей машини тертя і монтажної схеми і змінюється в діапазоні 20 – 40 мм.

Це позначається на освітленості фоторезистора. Зі збільшенням відстані освітленість фоторезистора падає. Дана залежність наведена на рис.5.

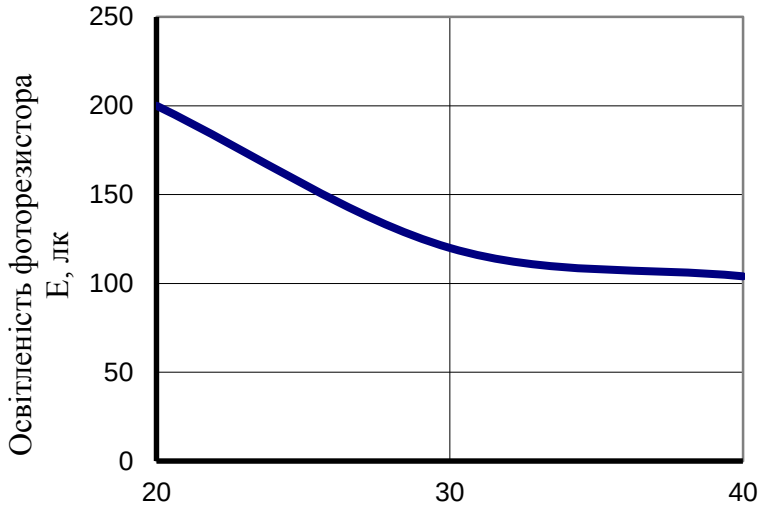



Рис.6.Залежність освітленості фоторезистора від відстані між лампою і фоторезистором

Фоторезистор, який сприймає світловий потік, змінює величину струму, в залежності від освітленості E, який залежить від відстані між лампою і фоторезистором, і зміни напруги в колі U (рис.7).

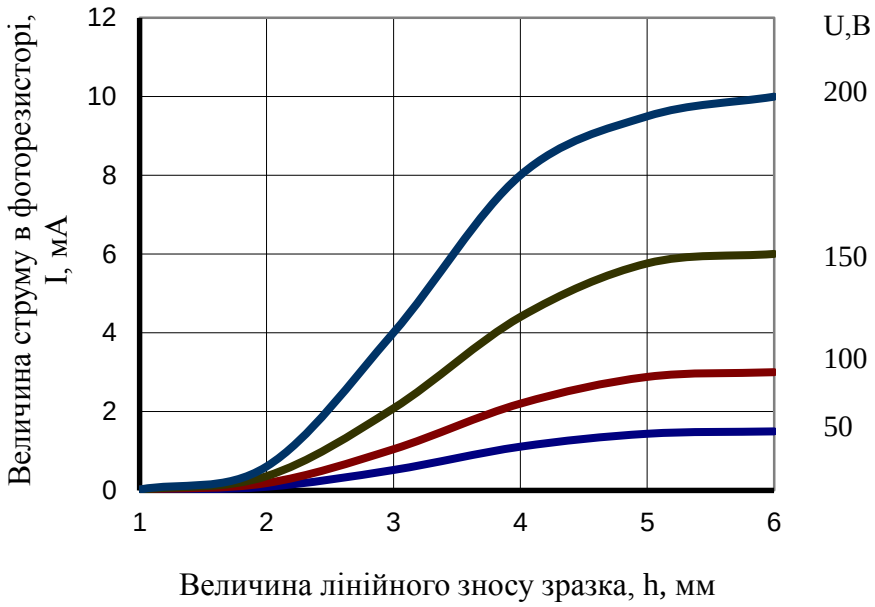



Рис. 7. Залежність величини струму в фоторезисторі від величини зносу зразка при різних напругах

Проведені дослідження дозволили встановити основні параметри, що впливають на величину струму в фоторезисторі.

Основним параметром є величина лінійного зносу зразка - h(X1). Величина лінійного зносу зразка знаходиться в діапазоні від 0 до 6мм. Величина струму фото резистора залежить від величини напруги мережі - U(X2). Величина напруги коливається від 50 до 220 В. Крім того, на величину струму в фоторезисторі, впливає відстань між лампою і фоторезистором - *l*(X3). Відстань між лампою і фоторезистором знаходиться в діапазоні від 20 до 40 мм. Обробка експериментальних даних проводилась за стандартною програмою MatLab на комп'ютері з використанням коефіцієнтів регресії рівнів достовірності та критеріїв Стьюдента.

Математична модель має вигляд (використовуються тільки значимі коефіцієнти Bij):

$$\mathbf{Y= 2{,}2X_0 + 2{,}0X_1 + 1{,}6X_2 + 0{,}72X_3+1{,}8X_1X_2+0{,}53X_2X_3.}(3)$$

З рівняння регресії видно, що найбільший вплив на величину струму в фоторезисторі здійснює величина зносу зразка h. Найменший вплив на величину струму фото резистора здійснює відстань між лампою і фоторезистором.

Детермінуючи напругу мережі (X2), за трьома рівнями варіювання, отримані залежності величини струму фото резистора від величини зносу зразка (X1) і відстані від лампи до фоторезистора (X3). Графічні залежності представленінарисунках8, 9, і 10.

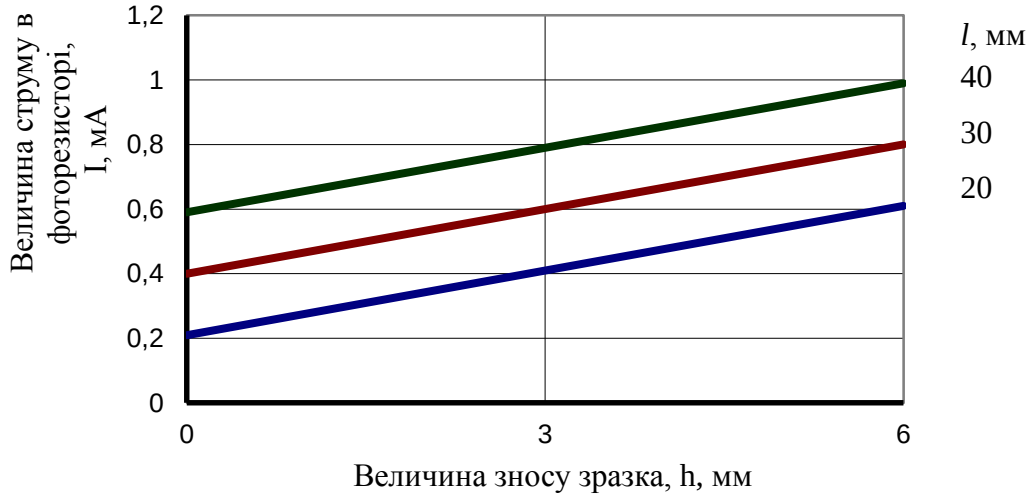



Рис. 8. Залежність величини струму фоторезистора від величини зносу зразка і відстані від лампи до фоторезистора при напрузі в мережі U=50В

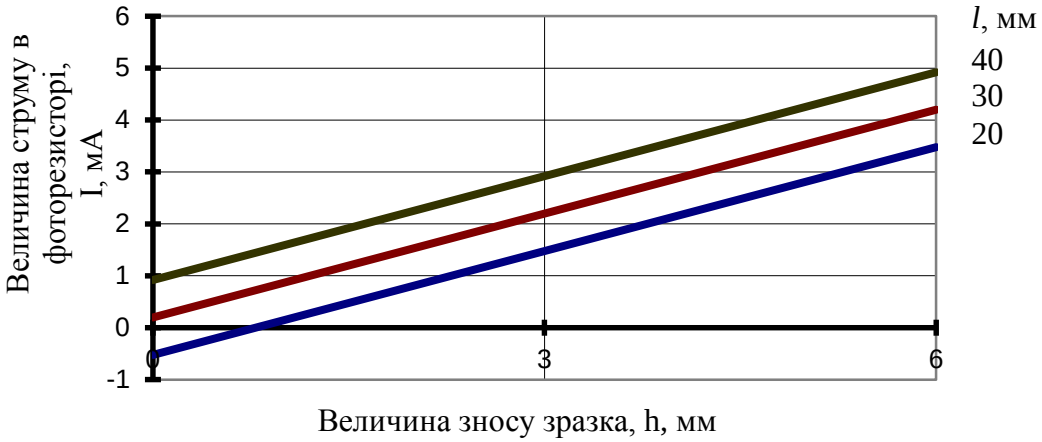



Рис.9. Залежність величини струму фоторезистора від величини зносу зразка і відстані від лампи до фоторезистора при напрузі в мережі U=135 В

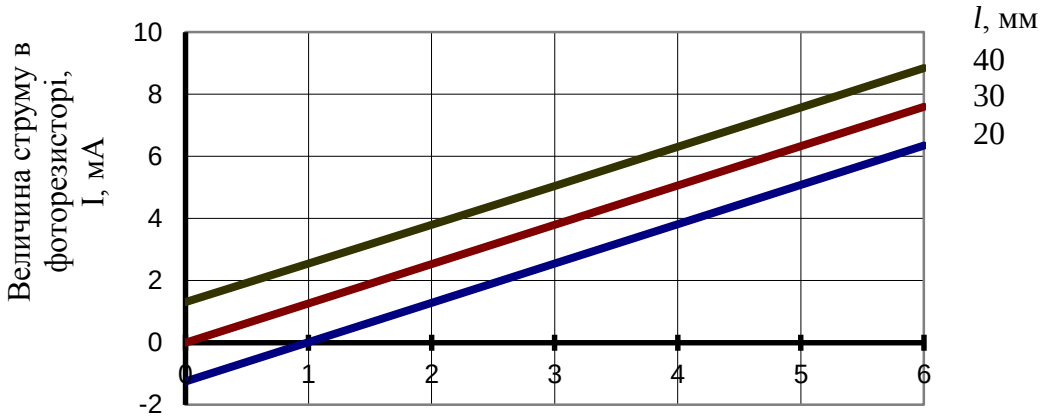



Рис.10. Залежність величини струму фоторезистора від величини зносу зразка і відстані від лампи до фоторезистора при напрузі мережі U=220 В

**Висновок.** На підставі проведеного аналізу зроблений акцент на можливості використання результатів контролю якісних показників змащувальних середовищ при діагностуванні технічного стану енергетичних засобів. Розроблена система керування пристроєм, визначені параметри контролю та розроблені технологічні вимоги. Розроблена функціональна схема контролю і керування. На підставі схеми технологічної розроблена електрична принципова схема керування. Проведений вибір і перевірка апаратури керування і захисту. Встановлені основні фактори, які впливають на технологічний процес,функцію відгуку та рівні варіювання.

Використовуючи комп'ютерну програму MatLab проведена обробка результатів досліджень і отримане рівняння регресії. Отримані емпіричні залежності для подальшого їх практичного використання. Враховуючи конструктивні особливості установки і її монтажної схеми,встановлено, що при напрузі в робочій мережі 50 В, можна по величині струму у фоторезисторі типу ФС-К1, згідно його технічних характеристик (діапазон роботи 0…1,5 мА), визначати з достатньою точністю величину лінійного зносу зразків в інтервалі 0…6 мм.

**Список використаних джерел**

1. Смазочные материалы: Антифракционные и противоизносные свойства. Методы испытаний: справочник/ *Р. М. Матвеевский и др.*Москва: Машиностроение, 1989. 224с.

2. *Журавель Д. П.* Методологія оцінки надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видахпаливо-мастильних матеріалів.*Вісник Сумського національного аграрного університету. Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів.*Суми, 2016. Вип. 10/3(31). С. 66-71.

3. *Журавель Д. П.* Вплив забрудненості абразивом біопаливо-мастильних матеріалів на енергоємність поверхневих шарів металів вузлів і агрегатів мобільної техніки. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти.* Херсон, 2017. Вип. 5. С.56-65.

4. *Журавель Д. П.* Методология обеспечения надежности мобильной техники при использовании биологических ТСМ. *Енергозабезпечення технологічних процесів в агропромисловому комплексі України* : матер. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Мелітополь, 10-14 червня 2015 р.). Мелітополь, 2015. С. 8-10.

5. *Журавель Д. П.* Забезпечення надійності мобільної сільськогосподарської техніки при експлуатації на різних видах паливо-мастильних матеріалів.*Сучасні проблеми землеробської механіки* : збірник тез доп. XVII Міжнар. наук. конф. (м. Суми, 17-18 жовтня 2016 р.). Суми, 2016. С. 163-164.

6. *Журавель Д. П., Юдовинський В. Б.* Триботехнічні властивості олій біологічного походження. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 4. С. 160-166.

7. *Журавель Д. П., Мітков Б. В.*Дослідження впливу присадок на експлуатаційні властивості олій. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2012. Вип. 2, т. 1.

8. *Журавель Д. П.* Моделирование износа зубчатых передач трансмиссий в среде биологических масел. *Современные проблемы инновационного развития агроинженерии:* матер. междунар. науч.-произв. конф. (г. Белгород, 20-21 ноября 2012 г.). Белгород, 2012. Ч. 2. С.37- 40.

9. *Журавель Д. П.* Особливості використання олив біологічного походження для мобільної техніки.*Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти.* Запоріжжя, 2014. Вип. 2. С.157-165.

## ОБОСНОВАНИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Журавель Д. П.**

***Аннотация*** – работа посвящена обоснованию кинематических и технологических параметров устройства для оценки триботехнических свойств смазочных материалов, а также физико-химических процессов в зоне фрикционного контакта. Устройство соответствует следующим требованиям: одновременная регистрация основных параметров пары трения и рабочей среды; регистрация изменения характеристик рабочей среды в процессе трения; применения испытуемых образцов с малыми поверхностями трения, позволит непрерывно регистрировать суммарный износ пары трения в широком диапазоне нагрузок и скоростей скольжения.

Организация контроля качества смазочных материалов в сельском хозяйстве должна быть направлена на анализ работоспособности этих продуктов с точки зрения их триботехнических свойств. Технико-экономические аспекты эксплуатации техники направлены на разработку предприятиями конкурирующих смазочных материалов, изготовленных как из возобновляемого сырья биологического происхождения так и не возобновляемого минерального происхождения, с целью обеспечения ее надежной работы. В связи с этим возрастает роль методов, средств и способов контроля качества смазочных материалов на всех этапах эксплуатации - при приобретении, хранении и использовании по назначению. В статье на основании проведенного анализа сделан акцент на возможности использования результатов контроля качественных показателей смазочных сред при диагностировании технического состояния энергетических средств. Разработана система управления устройством, определены параметры контроля и разработаны технологические требования. Разработана функциональная схема контроля и управления. На основании схемы технологической разработана электрическая принципиальная схема управления. Проведенный выбор и проверка аппаратуры управления и защиты. Установлены основные факторы, влияющие на технологический процесс, функцию отклика и уровни варьирования.

***Ключевые слова*** - смазочные материалы, триботехнические свойства, устройство, сельскохозяйственная техника, надежность, средства контроля.

# DEFINITION OF DEVICE FOR ASSESSMENT OF TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF TANNING MATERIALS

**D. Zhuravel**

## Summary

The work is devoted to the substantiation of the kinematic and technological parameters of the device for the evaluation of the tribotechnical properties of the lubricants, as well as the physico-chemical processes in the zone of frictional contact. The device meets the following basic requirements: simultaneous registration of the main parameters of the friction pair and the working environment; registration of changes in the characteristics of the working environment in the process of friction; application of test samples with small friction surfaces, which will allow to continuously record the total wear of friction pairs in a wide range of loads and slip rates.

Organization of quality control of lubricants in agriculture should be aimed at analyzing the performance of these products in terms of their tribotechnical properties. Technical and economic aspects of the operation of the equipment are aimed at the development of competing lubricants produced by companies from both renewable raw materials of biological origin and non-restorative mineral origin, in order to ensure its reliable operation. In this regard, the role of methods, means and methods for quality control of lubricants at all stages of operation - in the acquisition, storage and use by appointment - is increasing. In the article, based on the analysis conducted, an emphasis was placed on the possibility of using the results of the control of quality indicators of lubricating media during the diagnosis of the technical state of energy resources. The device management system is developed, control parameters are defined and technological requirements are developed. The functional control and control scheme is developed. On the basis of the scheme of the technological scheme of electric basic control. The choice and testing of the control and protection equipment is carried out. The main factors influencing the technological process, response function and variation level are established.

**Key words***:* lubricants, tribotechnical properties, device, agricultural machinery, reliability, control means.

**УДК 621.431.3.004.54** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-2**

# ОБҐРУНТУВАННЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АГРЕГАТІВ ОЧИЩЕННЯ МАСТИЛА В ДВИГУНАХ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

**Дашивець Г. І., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0003-2612-6077**
**Новік О. Ю., інженер,** **https://orcid.org/0000-0003-0184-9172**
**Паніна В. В., к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0001-9623-516X**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. (0619) 44-02-74
e-mail: valeriia.panina@tsatu.edu.ua

***Анотація*** **–** роботу присвячено дослідженню різних систем очищення мастила в двигунах Д-240: серійна схема; серійна схема, де центрифуга має захисну сітку; комбінована система: серійна центрифуга на повному потоці і паперовий фільтр на відгалуженні. Спостереження велось за двигунами протягом періоду накопичення відкладень агрегатами очищення до повної брудовміскості. Зміна якості мастила проводилось по фізико-хімічним показникам: лужному числу, вмісту механічних домішок, продуктів зносу, кінематичній в'язкості, часу накопичення агрегатами повної грязеємності та щільності осаду. Отримані дані показали, що більші значення терміну напрацювання двигуна до моменту повної брудовміскості, щільності осаду і маси були при експлуатації комбінованої системи очищення, що дозволило використовувати мастило і обслуговувати агрегати очищення з періодичністю, що дорівнює міжсезонному технічному обслуговуванню.

***Ключові слова:*** моторне мастило, система очищення, центрифуга, фізико-хімічні показники, лужне число, вміст механічних домішок, продукти зносу, кінематична в'язкість.

**Постановка проблеми.** Найважливішими критеріями підвищення ефективності експлуатації техніки є збільшення ресурсу машин; зниження матеріальних витрат на підтримання їх в роботоздатному стані та напаливно-мастильні матеріали. Одним зі способів досягнення вищеперелічених заходів є якісне і своєчасне очищення мастил, що призводить до збільшення терміну їх служби до заміни, а також скорочення кількості регламентованих періодичних замін, зниження трудомісткості на технічне обслуговування двигунів.

В системі мащення двигунів внутрішнього згоряння широке розповсюдження отримали центрифуги, основними частинами яких є корпус і ротор. Очищення працюючого мастила служить захисту двигуна від забруднюючих домішок. Вирішення цих завдань

© Дашивець Г. І., Новік О. Ю., Паніна В. В.

передбачає оптимізацію конструктивних і режимних параметрів засобів очищення.

**Аналіз останніх досліджень.** Дослідженню експлуатаційних властивостей, раціонального застосування в техніці мастил, а також методів оцінки їх якості присвятили свої роботи Арабян С.Г., Венцель С.В., Григорьєв М.О., Лишко Г.П., Непогодьєв О.В., Папок К.К., Семенідо Є.Г., Чорножуков М.І., ін. Їх дослідження моторних мастил показали, що ступінь окисленності базової основи, накопичення в них нерозчинного осаду, спрацьованість основних функціональних присадок можуть бути достатньо об'єктивно оцінені по таким показникам: в'язкості, лужному числу, забрудненості, диспергуючій здатності, температурі спалаху, наявності в мастилі води, ін. Доведено, що зниження фізико-хімічних показників мастила в процесі експлуатації двигунів відповідає накопленню відкладень в роторах центрифуг. Дані показників відкладень можуть бути використані для визначення необхідності зміни мастила.

**Формування цілей статті.**Мета даної роботи – дослідження якісного стану мастила і обґрунтування періодичності технічного обслуговування агрегатів очищення (центрифуг, фільтрів) залежно від конструкції маслоочисників і схем очищення.

**Основна частина.** Догляд за відцентровими очисниками полягає у своєчасному очищенні ротора від відкладень, товщина шару яких на стінках ротора не повинна перевищувати 15-18 мм. Зі збільшенням товщини шару якість мастила різко погіршується. Мастило рекомендується міняти, а ротор центрифуги очищувати після кожних 480 годин роботи двигуна.

Для дослідження були обрані двигуни Д-240 тракторів МТЗ-80 з різними системами очищення мастила:

– серійна схема системи очищення мастила двигуна;

– серійна схема системи очищення, центрифуга із захисною сіткою;

– комбінована система очищення мастила: серійна центрифуга на повному потоці і паперовий фільтр (типу АСФ0) на відгалуженні.

Дослідження зміни якості мастила по фізико-хімічним показникам проводилося у групи двигунів, що мають порівняно однаковий наробіток в мотогодинах, протягом періоду накопичення відкладень агрегатами очищення до повної брудовміскості. Було проведено сезонне технічне обслуговування всіх тракторів з заправкою двигунів мастилом М-10$Г_2$ (ГОСТ 8581-78) і регулюванням клапанів центрифуг. Проби мастила відбиралися через 90-120 мотогодин роботи двигуна, в початковий період роботи – через 50-60 мотогодин для виявлення динаміки зміни стану мастила. Одночасно здійснювався контроль заповнення роторів центрифуг

забруднюючими домішками шляхом часткового розбирання і зважування стакану після стікання мастила з внутрішньої поверхні осаду протягом півгодини.

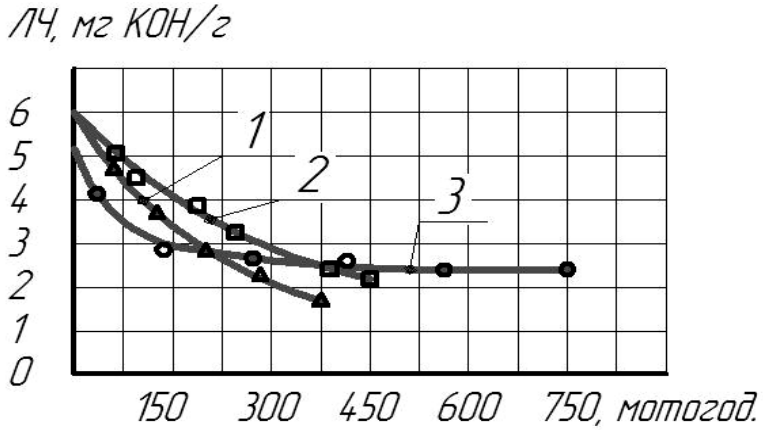
Оцінка якості мастила і ефективності функціонування агрегатів очищення проводилася по лужному числу (ГОСТ 11362-96), вмісту механічних домішок (ГОСТ 6370-2018), продуктів зносу (спектральним аналізом), кінематичній в'язкості (ГОСТ 33-2016), часу накопичення агрегатами повної брудовміскості та щільності осаду[1, 2]. У таблиці 1 наведені показники кінцевого стану осаду в роторах центрифуг. На рисунках 1-3 представлені експериментальні криві зміни деяких фізико-хімічних показників роботи моторного мастила при використанні різних систем його очищення.

Отримані результати свідчать про те, що застосування комбінованої системи очищення призводить до стабілізації процесу спрацьовування лужної присадки, яке настає раніше і на більш високому рівні. Вміст механічних домішок і продуктів зносу при використанні цієї схеми системи очищення знаходиться на більш низькому рівні в порівнянні з серійними центрифугами.

Таблиця 1

**Ефективність функціонування агрегатів системи очищення**

| Схема системи очищення мастила | Строк накоплення осаду до повної брудовміскості, мотогод. | Щільність осаду, кг/м$^3$ | Маса осаду, кг | Інтенсивність набору відкладень, г/мотогод. |
|---|---|---|---|---|
| Серійна центрифуга | 367 | 1115 | 0,36 | 0,98 |
| Серійна центрифуга з захисною сіткою | 462 | 1291 | 0,43 | 0,93 |
| Комбінована система очищення: серійна центрифуга на повному потоці та паперовий фільтр на відгалуженні | 784 | 1475 | 0,45 г + + 0,08 (на фільтрі) | 0,68 |




1 – серійна центрифуга,
2 – серійна центрифуга з захисною сіткою,
3 – комбінована система очищення

Рис. 1. Зміна лужного числа (ЛЧ) залежно від тривалості роботи двигуна

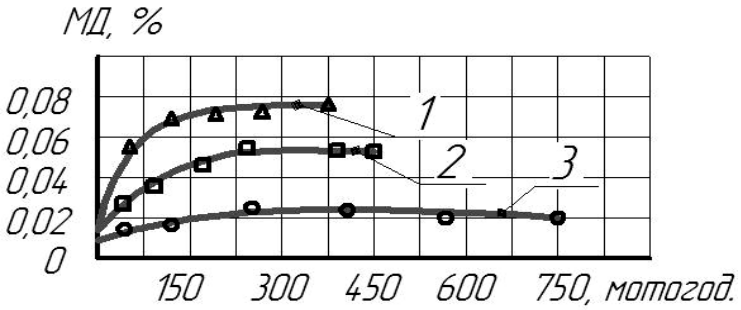



Рис. 2. Зміна вмісту механічних домішок (МД) залежно від тривалості роботи двигуна

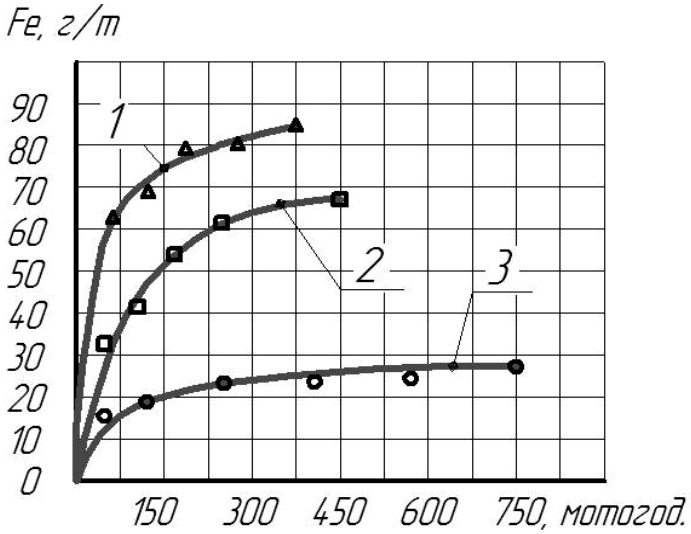



Рис. 3. Зміна вмісту продуктів зношування тертьових деталей (Fe) залежно від тривалості роботи двигуна

Кінематична в'язкість до кінця випробувань при застосуванні комбінованої системи очищення збільшилася на 3-4%, при застосуванні серійних систем очищення – на 9-12%. Слід зазначити більші значення терміну напрацювання двигуна до моменту повної брудовміскостіу комбінованої системи очищення. При цьому спостерігалась більша на 16-32% щільність осаду і менша на 5-30% інтенсивність накопичення відкладень у цієї ж системи очищення в порівнянні з серійними центрифугами.

**Висновки.** Проведені дослідження показали, що більш високі результати з підтримки роботоздатності моторного мастила і захисту тертьових пар від абразивних частинок отримані при випробуванні двигунів з комбінованою системою очищення. На підставі викладеного можна зробити важливий практичний висновок, що застосування комбінованої системи очищення дозволять використовувати мастило і обслуговувати агрегати очищення в строк, що дорівнює міжсезонному технічному обслуговуванню.

**Список використаних джерел**

1. *Арабян С. Г., Виппер А. Б. , Холомонов И. А.* Масла и присадки для тракторных и комбайновых двигателей: справочник.Москва: Машиностроение, 1984. 208 с.

2. *Григорьев М. А. Бунаков Б. М., Долецкий В. А.* Качество моторного масла и надежность двигателей. Москва: Издательство стандартов, 1981. 232 с.

## ОБОСНОВАНИЕ ПЕРИОДИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ АГРЕГАТОВ ОЧИСТКИ МАСЛА В ДВИГАТЕЛЯХ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

**Дашивец Г. И., Новик А. Ю., Панина В. В.**

***Аннотация*** – работа посвящена исследованию различных систем очистки масла в двигателях Д-240: серийная схема; серийная схема, где центрифуга имеет защитную сетку; комбинированная система: серийная центрифуга на полном потоке и бумажный фильтр на ответвлении. Наблюдения велись за двигателями на протяжении периода накопления отложений агрегатами очистки до полной грязеёмкости. Изменение качества масла проводилось по физико-химическим показателям: щелочному числу, содержанию механических примесей, продуктов износа, кинематической вязкости, времени накопления агрегатами полной грязеёмкостии плотности осадка. Полученные данные показали, что большие значения срока наработки двигателя до момента полной грязеёмкости, плотности осадка и массы были при использовании комбинированной системы очистки, что позволило использовать масло и обслуживать агрегаты очистки с периодичностью, равной межсезонному техническому обслуживанию.

***Ключевые слова:*** моторное масло, система очистки, центрифуга, физико-химические показатели, щелочное число, содержание механических примесей, продукты износа, кинематическая вязкость.

# JUSTIFICATION OF THE PERIODICITY OF THE TECHNICAL SERVICE OF OIL CLEANING UNITS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

**G. Dashivets, A. Novik, V. Panina**

***Summary***

The work is devoted to the study of various systems for cleaning lubricants in engines D-240: serial scheme; centrifuge serial scheme having a protective grid; Combined system: full flow batch centrifuge and paper filter on the branch. It is proved that the deterioration of the physical and chemical parameters of the lubricant during the operation of the engines corresponds to the accumulation of deposits in the rotors of centrifuges.

The observation was carried out by the engines D-240 during the period of accumulation of deposits by cleaning units to full dirt. Lubrication samples were selected after a certain period of operation of the engine to detect the dynamics of oil change. At the same time, the control of filling the centrifuge rotors with polluting impurities was carried out by partial disassembly and weighing of the glass after draining of the lubricant from the internal surface of the precipitate.

The quality of the lubricant was evaluated according to the physic-chemical parameters: alkaline number, content of mechanical impurities, products of wear, kinematic viscosity, accumulation time of aggregates of full mud capacity and sediment density.

Studies have shown that the use of a combined purification system leads to stabilization of the alkaline additive treatment process, which occurs earlier and at a higher level. The content of mechanical impurities and deterioration products using this scheme of purification system is at a lower level compared to serial centrifuges.

Summary of article. Larger values of the engine lifetime until the moment of full dirt holding capacity, sediment density and mass, which were during the operation of the combined purification system, will allow the use of lubricant and serve cleaning units with a periodicity equal to inter-season maintenance.

**Keywords**: motor oil, purification system, centrifuge, physical and chemical parameters, alkaline number, content of mechanical impurities, attrition products, kinematic viscosity.

**УДК 631.363.2** **DOI 10.31388/2220-8674-2019-1-3**

# ТЕОРЕТИЧНЕ ПОРІВНЯННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОТКІВ ПОДРІБНЮВАЧІВ ГІЛОК З ГОРИЗОНТАЛЬНОЮ ВІССЮ ОБЕРТАННЯ

**Кравченко В. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0003-2334-0705**
**Войтік А. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-8196-3102**
**Головатюк А. А., к.с-г.н.** **https://orcid.org/0000-0002-2130-106X**
*Уманський національний університет садівництва*
E-mail: kr.vasyl.v@gmail.com

***Анотація*** **-** в статті представлені результати теоретичних досліджень опору повітря молотками подрібнювачів гілок дерев та кущів з горизонтальним валом обертанням. Дослідження проведені для молотків у формі лопаті, молотків у формі лопаті з тримачем у вигляді паралелепіпеда, пластинчастих молотків загнутих в одну сторону та Y-подібних пластинчастих молотків. Для визначення сили опору молотків повітрю використано формулу лобового опору повітрю для тіл обертання. Представлені у вигляді графіків результати розрахунків дозволили оцінити вплив кожного типу молотків на опір повітрю та порівняти їх між собою. Для енергетичної оцінки роботи на подолання опору повітря молотків різної форми визначено споживану потужність на приводі молоткового барабану залежно від їхньої кількості на ньому. Отримані графіки показали, що форма молотка має значний вплив на енергоємність подолання опору повітря. Доведено, що енергоємність роботи молотків при подоланні опору повітря лопатевої форми майже в 10 разів перевищує енергоємність роботи молотків пластинчастої форми.

***Ключові слова:*** подрібнювач гілок з горизонтальною віссю, молоток подрібнювача гілок, опір повітря.

**Постановка проблеми.** Подрібнення деревини залишається доволі енергоємним процесом. І операції пов’язані з подрібненням обрізаних гілок дерев і кущів, чи безпосереднім знищенням надземної частини кущів не є виключенням. Одним з основних факторів, який впливає на енергоємність подрібнення гілок, залишається форма робочого органа. Відомо, що значна частина енергії робочих органів сучасних подрібнювачів гілок нераціонально витрачається на подолання опору повітря, особливо це стосується подрібнювачів з горизонтальним розміщенням валу та їх лопатевих молотків [1]. Молотки в цих подрібнювачах гілок переважно кріпляться шарнірно, і для забезпечення перерубування-перебивання гілок повинні мати певну масу, що і є одним з факторів вибору такої форми робочого органа. Також лопатева форма робочих органів сприяє транспортуванню подрібненої маси, як, наприклад, це реалізовано в

© Кравченко В. В., Войтік А. В., Головатюк А. А.

ротаційних косарках при збиранні зеленої маси. Але якщо подрібнена маса не транспортується далі, а залишається в міжряддях чи на полі у вигляді мульчі, то необхідно дослідити раціональність застосування молотків саме лопатевої форми, тому що така форма молотків може призводити до підвищених витрат енергії на подолання опору повітря. Тому дослідження спрямовані на вирішення проблеми зменшення нераціональної витрати енергії на подолання опору повітря через вибір оптимальної форми робочого органу зі збереженням його технологічних властивостей на сьогодні є актуальними.

**Аналіз останніх досліджень.** Опір повітря завжди враховується як шкідливий фактор при розробці робочих органів подрібнювачів і тому обов'язково присутній в енергетичному розрахунку машин. Багато робіт спрямовано на дослідження подрібнювачів кормів ударної дії, де розглядаються в основному пластинчасті молотки різної форми, їх рух в повітрі насиченому частинками подрібненого продукту [2], взаємодію повітряного потоку з іншими елементами конструкції дробарки, участь повітряного потоку створеного молотками у проходженні подрібненого продукту крізь решета [3]. Також зустрічаються роботи присвячені подрібнювачам гілок та рослинних залишків чи сидератів з вертикальною віссю обертання. В них досліджується повітряний потік створюваний ножами [4], вплив різної форми лез та їх швидкості руху на опір повітрю та загальну енергоємність подрібнення [5]. Щодо подрібнювачів гілок та рослинної маси з горизонтальною віссю обертання, то тут також є багато як теоретичних так і практичних досліджень і розглядаються в них, в основному, якісні показники роботи машин [6], продуктивність машин залежно від кількості робочих органів, або величини подачі рослинної маси на подрібнення[7]. В роботі [8] порівняно повну енергоємність подрібнення стебел батату L-подібними та Y-подібними молотками.

Таким чином питання порівняння робочих органів різних форм саме за опором повітрю не висвітлено повністю і потребують детального розгляду.

**Формування цілей статті.** Метою статті є теоретичне дослідження опору повітря різних за формою робочих органів машин з горизонтальним розміщенням ротора для подрібнення обрізаних гілок дерев та гілок кущів.

**Основна частина.** В подрібнювачах гілок з горизонтальною віссю обертання найчастіше використовують молотки лопатевої форми (рис.1 а), пластинчасті молотки загнуті в одну сторону (рис.1 б) чи пластинчасті молотки Y-подібної форми (рис.1 б), а також можливе поєднання молотків лопатевої форми та пластинчастих (рис.1 в).

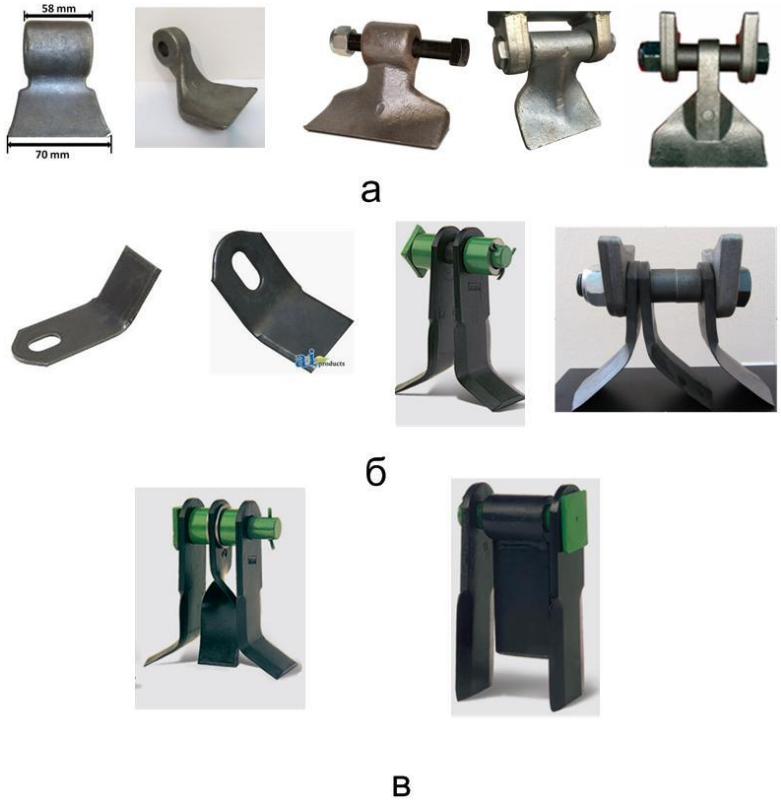



Рис.1. Молотки подрібнювачів з горизонтальною віссю обертання

Під час роботи подрібнювача, загальну потужність на його привід визначають за формулою:

$$N = N_{П} + N_{X}, \quad (1)$$

де $N_n$ – потужність, яка пов'язана з безпосереднім подрібненням деревини, Вт;

$N_x$–потужність холостого ходу ротора, Вт.

Потужність холостого ходу споживається на подолання опорів тертя в підшипникових вузлах (біля 10-20% потужності холостого ходу [9]) і на вентиляційну дію молоткового барабану.

Опір повітрю чинять всі конструктивні елементи, що приєднанні до ротора: тримачі молотків, пальці або втулки з допомогою яких молотки кріпляться до тримачів та безпосередньо самі молотки.

Розглянемо, як впливає форма молотків на опір повітрю.

Силу лобового опору повітрю тіла, яке рухається поступально в загальному вигляді визначають за формулою:

$$F_{л} = C \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot \upsilon^2}{2}, \quad (2)$$

де: $C$ – коефіцієнт опору, який залежить від форми тіла;

$S$–площа поперечного перерізу тіла, м$^2$;

$\rho$ – щільність повітря, кг/м$^3$;

$v$–швидкість руху тіла, м/с.

Молотки подрібнювачів здійснюють обертальний рух навколо осі ротора, при обертальному русі формула для визначення опору повітря набуває наступного вигляду:

$$F_л = C \cdot S \cdot \frac{\rho \cdot R^2 \cdot \omega^2}{2}, \quad (3)$$

де: $R$ – радіус обертання молотків, м;

$\omega$ – кутова швидкість обертання ротора, рад/с.

Розглядаючи останнє рівняння, можна побачити, що форма молотків має вплив на силу лобового опору повітря через площу поперечного перерізу молотків $S$ та коефіцієнт обтікання тіл $C$.

Щоб проаналізувати вплив форми молотків на силу лобового опору, зробимо припущення, що всі досліджуванні молотки працюють в однакових умовах: підвішені на тримачах однієї конструкції, мають однакову довжину і ширину захвату, розміщені на однаковій відстані від осі обертання по кінцях молотків та обертаються з однаковою швидкістю.

Якщо площа поперечного перерізу тіл $S$має прямо пропорційний вплив на силу опору повітрю, то коефіцієнт обтікання $C$ це безрозмірна величина, яка визначає реакцію повітря на рух тіла в ньому. І тому тіла різної форми мають різні значення цього коефіцієнта. На практиці значення коефіцієнта обтікання визначають для кожного молотка чи ножа подрібнювачів експериментально і потім вносять їх у розрахункові формули.

Проаналізуємо вплив форми молотків на силу їх опору повітрю та енергетику подрібнювача використавши значення коефіцієнтів обтікання для елементарних фігур, які визначені експериментально в аеродинамічній трубі [10].

Основні форми молотків схематично можна зобразити в наступному вигляді (рис.2): молотки форми 1 – лопатеві молотки у формі одного пустотілого напівциліндра (рис.2 а), молотки форми 2 – у формі паралелепіпеда зі сторони тримача та пустотілого напівциліндра зі сторони бойка (рис.2 б); молотки форми 3 – пластинчасті загнуті та молотки форми 4 – пластинчасті Y-подібні, які можна представити у формі окремих паралелепіпедів, що характеризуються такими параметрами як висота, довжина та ширина (рис.2 в, г).

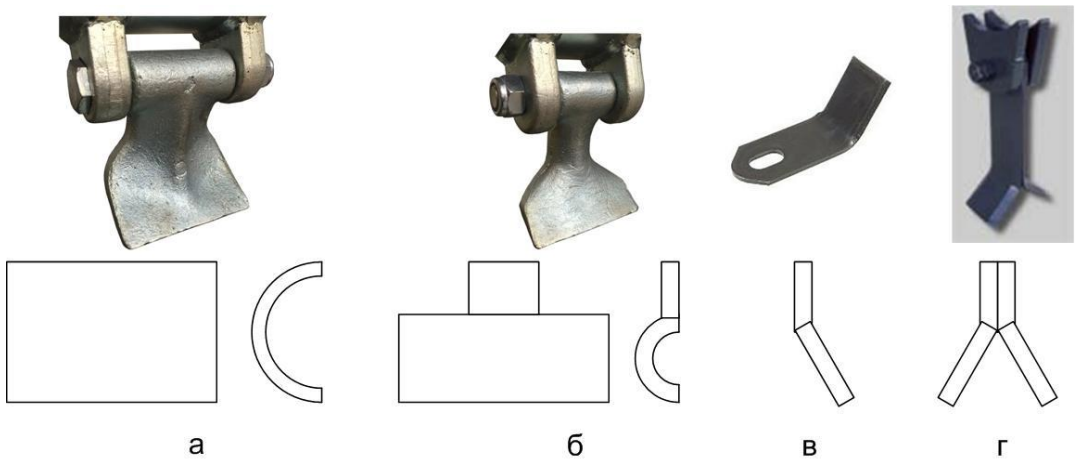



Рис. 2. Схематичне зображення молотків

Загальний опір молотків можна виразити сумою їх елементарних складових елементів:

$$F_м = \sum_{1}^{n} F_i \,, \tag{4}$$

де $F_i$ – опір окремих елементарних складових елементів молотків;
$n$ – кількість елементарних складових елементів молотків.

Відповідно до джерела [10] коефіцієнти обтікання для пустотілого напівциліндра – $C_{нп}$=2,3; для паралелепіпеда – $C_п$=1,05.

Тоді, використавши формули (3) і (4), сили опору повітря для приведених форм молотків набудуть наступного вигляду:

для молотка 1:

$$F_{м1} = 2{,}3 \cdot B_б \cdot l_б \cdot \frac{\rho \cdot R_{сб}^2 \cdot \omega^2}{2}; \tag{5}$$

для молотка 2:

$$F_{м2} = 2{,}3 \cdot B_б \cdot l_б \cdot \frac{\rho \cdot R_{сб}^2 \cdot \omega^2}{2} + 1{,}05 \cdot B_m \cdot l_m \cdot \frac{\rho \cdot R_{cm}^2 \cdot \omega^2}{2}; \tag{6}$$

для молотка 3:

$$F_{м3} = 1{,}05 \cdot B_б \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \frac{l_б \cdot R_{сб}^2 + l_m \cdot R_{cm}^2}{2}; \tag{7}$$

для молотка 4:

$$F_{м4} = 1{,}05 \cdot B_б \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot \left(l_б \cdot R_{сб}^2 + l_m \cdot R_{cm}^2\right) \tag{8}$$

де $B_б$ і $B_m$ –ширина бойка та ширина тримача бойка молотка, м;
$l_б$ та $l_m$ –довжина бойка та довжина тримача бойка молотка, м
$R_{сб}$ та $R_{cm}$ –радіуси по центрам ваги бойка та тримача молотка, м:

$$R_c = R_n + \frac{R_n + R_к}{2},$$

де$R_n$ та $R_к$–радіуси розміщення початку та кінця елементів молотка (тримача і бойка) відносно осі обертання ротора, при цьому радіус кінця тримача співпадає з радіусом початку бойка, м.

Згідно з прийнятими раніше припущеннями, проаналізуємо опір повітрю, який створюють молотки залежно від їх кутової швидкості руху та побудуємо відповідний графік (рис. 3).

При розрахунках використовувались наступні дані: ширина захвату молотка – 6 см, діаметр ротора по кінцям молотків - 40 см, загальна довжина молотків – 10 см, довжина тримачів - 5 см, ширина тримача молотка 2 – 3 см, ширина тримачів та бойків молотків 3 та 4 - 1 см.

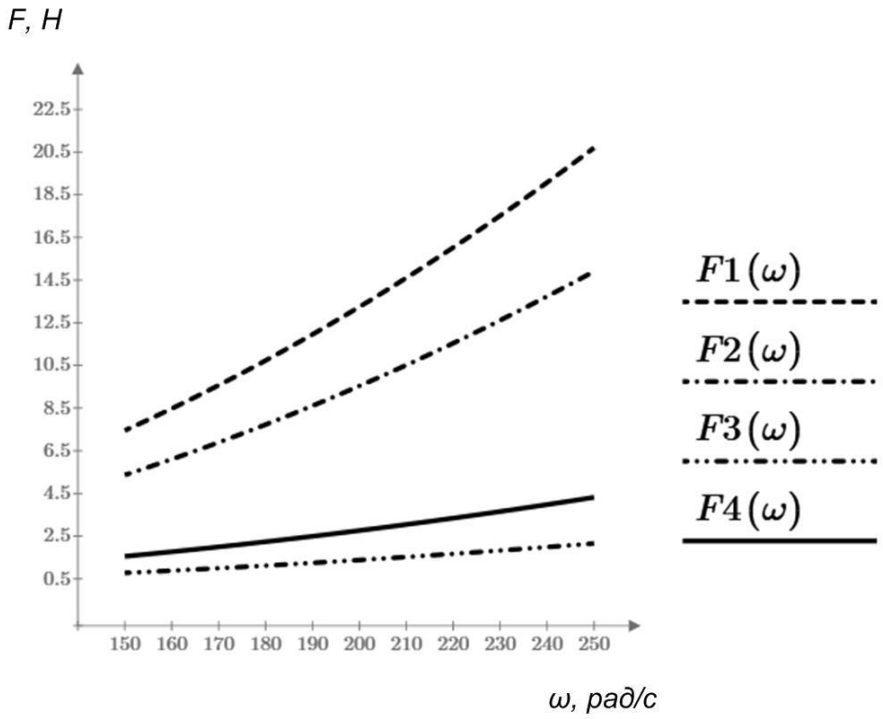



Рис. 3. Залежність опору повітря від кутової швидкості обертання молотків

Отримані результати (рис.3) показують, що в діапазоні швидкостей від 150 рад/с до 250 рад/с при однакових умовах роботи лопатеві молотки створюютьбільший опір повітрюв понад 10 разівпорівняно із одинарним пластинчастим загнутим молотком. Наявність тримача-паралелепіпеда лопатевих молотків, рівного половині довжини молотка, дозволяє зменшити опір повітрю на 25%. Збільшення ж лобової площі у пластинчастих Y-подібних молотків у два рази порівняно із одинарними пластинчастими загнутими молотками, призводить до збільшення опору повітря аналогічно у 2 рази.

Проаналізуємо затрати енергії, які при цьому витрачаються на привід ротора залежно від кількості молотків.

Потужність, яку необхідно прикласти, щоб подолати опір повітряного потоку визначимо за формулою (9) та зобразимо її

залежність від кількості молотків на роторі у вигляді графіка (рис. 4), швидкість обертання ротора при цьому фіксувалась на рівні 150 рад/с:

$$N = F \cdot R_c \cdot \omega \cdot z \quad (9)$$

де $z$ – це кількість молотків на роторі, шт.

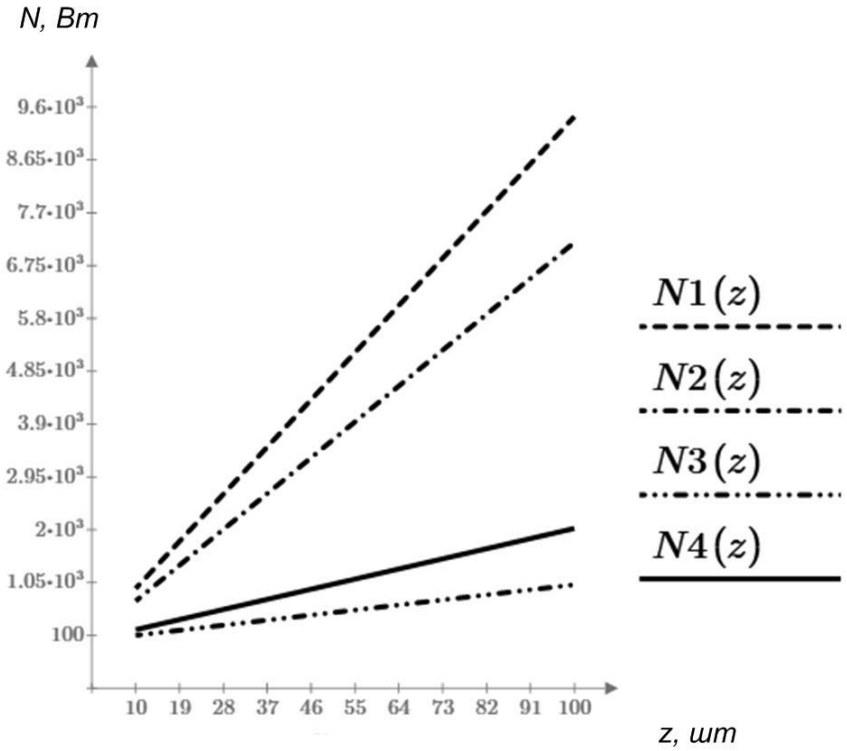



Рис. 4. Залежність потужності на привід молоткового ротора подрібнювача від кількості молотків на ньому

Збільшення кількості молотків на роторі в 10 разів призводить до закономірного збільшення потужності в 10 разів на подолання опору повітря. Але порівнюючи прямі, які зображають даний процес, видно, що якщо для роторів з молотками форми 3 значення цієї потужності складають 101,2-1012 Вт. То для роторів з молотками форми 1, при зміні кількості молотків в 10 разів, потужність на подолання опору повітря вже складає 943-9430 Вт, тобто майже в 10 разів більша по всьому діапазону зміни кількості молотків. Зменшення довжини лопаті у 2 рази у роторів з молотками форми 2 призводить до зменшення потужності на подолання опору повітря у цих молотків порівняно з роторами з молотками форми 1 типу до 25%.Але це значення все одно залишається більшим, відповідно у 7та 3,5 разів відносно показників енергоємності молотків принципово іншої форми 3 і 4.

**Висновок.** Дослідження сили опору повітря який створюють молотки подрібнювачів гілок з горизонтальною віссю обертання та потужності на подолання цього опору, показали, що найбільше

значення цих показників досягаються у лопатевих молотків. Сила опору повітря та потужність таких молотків, в діапазоні швидкостей від 150 рад/с до 250 рад/с, при однакових умовах роботи, в понад ніж 10 разів більші порівняно із одинарними пластинчастими загнутими молотками.

**Список використаних джерел**

1. *Комаров Л.И.* Исследование измельчающего аппарата с пневмошвыряющим устройством.*Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства.*1961. №4. С. 16-20.

2. Повышение производительности кормодробилки за счёт оптимизации конструктивных параметров молотка /*А. А. Петров* и др. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2016. № 1 (57). С. 43-45.

3. *Баранов Н. Ф., Шулятьев В. Н., Лопатин Л. А.* Оценка энергозатрат на трение и вентиляцию молотковой дробилки с кольцевыми деками.*Современное состояние, проблемы и перспективы развития механизации и технического сервиса агропромышленного комплекса:* материалы Международной научно-практической конференции Института механизации и технического сервиса. 2018. С. 41-50.

4.Air flow conditions in workspace of mulcher /*J. Čedik* [et al.]. *Agronomy Research*.2018. Vol. 16, № 3.P. 669-678.

5. Influence of blade shape on mulcher blade air resistance/*J. Čedik* [et al.]. *AgronomyResearch*.2016. Vol. 14, № 2.P. 337-334.

6. *Соколов В. О., Привалов І. С., Петренко С. О.* Результати дослідження утилізації зрізаних гілок плодових дерев. *Садівництво*. 2012. Вип. 65. С. 241-245.

7. *Брагинец Н. В., Вертий А. А.* Экспериментальные исследования процесса измельчения грубых и стебельчатых кормов измельчителем с комбинированными ножами. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2015.Вип. 45, ч.II.С. 129-134.

8.EffectsofKnifeShapesandCuttingSpeedsofaMoweronthePowerConsumption for Pulverizing Sweet Potato Vine /*A.N.N. Kakahy*[etal.]. *Key Engineering Materials*.2013. Vol. 594-595.P. 1126-1130. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.594-595.1126.

9. *Ревенко І. І., Брагінець М. В., Ребенко В. І.* Машини та обладнання для тваринництва: підручник. Київ: Кондор, 2012. 731 с.

10. *Hoerner S. F.* Fluid-dynamic Drag. Published by the author, 1965. 455 p.

# ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОТКОВ ИЗМЕЛЬЧИТЕЛЕЙ ВЕТОК С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

**Кравченко В. В., Войтик А. В., Головатюк А. А.**

***Аннотация*** **–** в статье представлены результаты теоретических исследований сопротивления воздуху молотками измельчителей веток деревьев и кустов с горизонтальным валом вращения. Проведенный обзор литературных источников показал, что предыдущие исследования констатируют факт присутствия сопротивления воздуха молоткам измельчителей, но конкретных результатов по сравнению различных форм молотков не зафиксировано. Исследования проведены для четырех основных форм молотков, которые используются в современных измельчителях. Это сплошные молотки в форме лопасти, молотки в форме лопасти с держателем в виде параллелепипеда, пластинчатые молотки, загнутые в одну сторону и Y-образные пластинчатые молотки. Для проведения расчетов молотки представлены в форме простых геометрических фигур: пустотелого полуцилиндра и параллелепипеда, для которых известны площади лобового сопротивления и коэффициенты обтекания. Для определения силы сопротивления воздуху молотками использовано формулу лобового сопротивления для тел вращения, основными составляющими которой являются площадь элементарной фигуры, коэффициент обтекания, угловая скорость вращения и радиус расположения элементов молотков относительно оси вращения ротора. В результате математических преобразований получено уравнение сопротивления воздуху для каждого из четырех типов молотков. При выполнении расчета сопротивления воздуха для всех типов молотков приняты одинаковые условия работы, а именно: скорость вращения, радиус подвеса, длина и ширина захвата молотков, длина держателей и бойков. Представленные в виде графиков результаты расчетов позволили оценить влияние каждого типа молотков на сопротивление воздуху и сравнить их между собой. Для оценки влияния формы молотков на энергоемкость преодоления сопротивления воздуха определена потребляемая мощность на привод молоткового барабана в зависимости количества молотков. Полученные графики показали, что форма молотка имеет значительное влияние на энергоемкость преодоления сопротивления воздуха, а соответственно и общую энергоемкость работы молоткового измельчителя веток. На основании проведенных исследований доказано, что на преодоление сопротивления воздуха молотками лопаткоподобной формы тратится почти в 10 раз больше энергии в сравнении с пластинчатымимолотками.

***Ключевые слова:*** измельчитель веток с горизонтальной осью, молоток измельчителя веток, сопротивление воздуха.

# THEORETICAL COMPARISON OF THE AERODYNAMIC PROPERTIES OF BRANCH SHREDDER HAMMERS WITH HORIZONTAL ROTATION AXIS

**V. Kravchenko, A. Voitik, A.Golovatyuk**

***Summary***

The article presents the results of theoretical studies of air resistance with hammers of shredders of tree branches and bushes with a horizontal shaft of rotation. A review of the literature showed that previous studies state the presence of air resistance to shredding hammers, but there are no specific results comparing the various forms of hammers. Studies have been carried out for four main forms of hammers, which are used in modern shredders. These are solid blades in the form of a blade, hammers in the shape of a blade with a parallelepiped-shaped holder, plate hammers, bent to one side and Y-shaped plate hammers. For the calculations, the hammers are presented in the form of simple geometric figures: a hollow semi-cylinder and a parallelepiped, for which the drag areas and drag coefficients are known. To determine the force of resistance to air, hammers used the formula of drag for bodies of rotation, the main components of which are the area of an elementary figure, the drag coefficient, the angular velocity of rotation and the radius of the location of the hammer elements relative to the axis of rotation of the rotor. As a result of mathematical transformations, the equations of resistance to air for each of the four types of hammers were obtained. When performing the calculation of air resistance for all types of hammers, the same working conditions were adopted, namely: rotational speed, radius of rotation, length and width of hammers, length of holders and strikers. The results of calculations presented in the form of graphs made it possible to evaluate the effect of each type of hammers on air resistance and compare them with each other. To assess the impact of the shape of hammers on the energy consumption of overcoming air resistance, the power consumption of the hammer drum drive is determined depending on the number of hammers. The obtained graphs showed that the shape of the hammer has a significant effect on the energy intensity of overcoming air resistance, and, accordingly, the overall energy intensity of the hammer shredder. On the basis of the conducted research, it has been proved that almost 10 times more energy is spent on overcoming air resistance with blade-type hammers compared to plate-shaped hammers.

***Key words***: horizontal axis shredder, branch shredder hammer, air resistance.

**УДК 620.952.003.13** DOI: **10.31388/2220-8674-2019-1-4**

# ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНО-ОСТЕКЛОВАННЫХ ПЕЛЛЕТ – ЗАЛОГ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Бунецкий В. А.**[1]**,** инженер,
**Бондаренко М. В.,** к. т. н.[2]
[1] Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра Василенко
[2] Днепропетровский национальный университет им. Олеся Гончара
e-mail: engineering@bm-biomass.com

***Аннотация*** **–** в статье рассмотрены основные технические принципы и преимущества создания энергоэффективного и окупаемого пеллетного производства на основе сушильного комплекса СК-3. Проанализированы основные преимущества использования многостадийного измельчения древесины во время эффективного пеллетирования топлива. Сформулированы основные подходы и конструктивные особенности автоматизированных пеллетных линий, в состав оборудования которых входит сушильный комплекс СК-3.

***Ключевые слова:*** сушка биомассы, пеллеты, сушильный комплекс СК-3, энергоэффективность, удельные производственные затраты, многостадийное измельчение.

В основу создания эффективного пеллетного производства положена такая технология, которая позволяет производить из имеющегося у инвестора сырья высококачественные пеллеты, сертифицированные по европейским стандартам [1]. Эта технология должна учитывать конкретные физико-химические и реологические свойства биосырья, и на их основе определять метод подготовки, деструкции и прессования готовой продукции. Научно-техническое обоснование такой технологии дает возможность на практике построить эффективно работающее, и дающее прибыль пеллетное производство. Энергетический мониторинг используемых технологий в пищевых производствах [5] и на маслоэкстракционных [6] предприятиях показал, что для повышения энергоэффективности огромное значение имеют методы подготовки сырья.

Компания BM-Engineering, постоянно проводя научно-исследовательские работы по модернизации сушильного комплекса СК-3, перешла к совершенствованию и испытаниям новейшей **технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет.**

© Бунецкий В. А., Бондаренко М. В.

Остеклование – такой физико-химический процесс изменения структуры древесины и других видов биомассы, при котором происходит переход термопластичных биополимеров из твердого упруго-вязко-пластичного состояния в остеклованное. Эти преобразования проходят в древесине под действием комплекса физических факторов (температуры и давления) в условиях определенной влажности [3, 4].

Поверхностно-остеклованные пеллеты (ПОП) по своим потребительским качествам соответствуют обыкновенным, отличаясь от них более твердой и гидрофобной наружной поверхностью, которая предохраняет их от рассыпания, и замедляет размокание пеллет при хранении в условиях высокой влажности. Такие пеллеты практически не разрушаются после упаковки, их можно хранить намного дольше одного года (отопительного сезона). Это – очень важное преимущество, т. к. обычные пеллеты быстро разрушаются и теряют потребительские свойства. Поэтому остеклованная продукция более предпочтительна для использования в качестве биотоплива при производстве тепловой энергии.

Для практической реализации разработанной технологии производства ПОП был разработан проект линии для изготовления такой продукции из биосырья различного происхождения. Основные узлы линии можно варьировать в зависимости от вида исходного сырья и типа получаемого готового продукта. Базовый проект линии, использующей в качестве сырья щепу, представлен на рис. 1.

На схеме рис.1. использованы такие обозначения:

| | |
|---|---|
| М1 – бункер теплогенератора;<br>М2 – узел выхода золы;<br>М3 – устройство подача воздуха в топку;<br>М4 – устройство подача воздуха в теплообменный агрегат (ТОА);<br>М5 – бункер сушилки;<br>М6 – сушилка барабанная;<br>М7 – циклон-аспиратор;<br>М8 – конвейер подачи топлива;<br>М9 – конвейер подачи сырья;<br>М10 – отвод сырья воздушный;<br>М11 – шлюзовик отвода материала;<br>М12 – шлюзовик циклона аспирации;<br>М14 – упаковочная машина;<br>М15 – отгрузка топлива; | М16 – узел загрузки сырья;<br>М17 – конвейер измельчителя;<br>М18 – измельчитель сырья;<br>М19 – конвейер просеивателя;<br>М20 – просеиватель узла первичного измельчения;<br>М21 – конвейер диспергаторов;<br>М22 – диспергатор шнековый (1);<br>М23 – диспергатор шнековый (2);<br>М24 – просеиватель узла вторичного измельчения;<br>М25 – щепорез;<br>М26 – гранулятор (1);<br>М27 – гранулятор (2);<br>М28 – охладитель-сортировщик, теплогенератор, теплообменник-утилизатор и трубы выхлопные. |

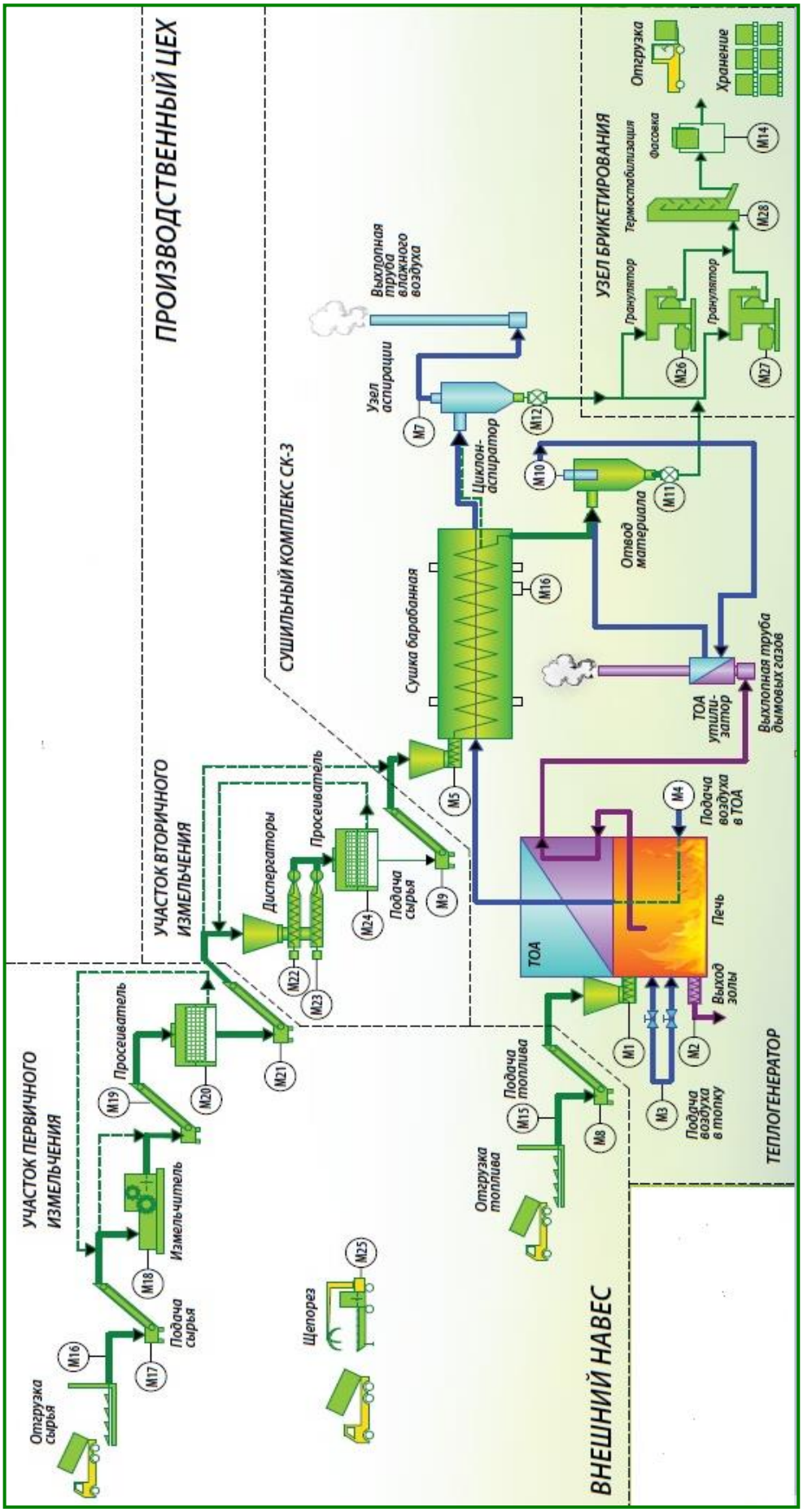



Рис. 1. Проект линии для производства пеллет на щепе. Производительность 1 т/ч. Принципиальная схема

Предлагаемая компанией BM-Engineering линия по производству поверхностно-остеклованных пеллет (рис. 1, 2) состоит из таких основных технологических участков:

1. Разгрузки и хранения сырья;
2. Первичного измельчения сырья;
3. Вторичного измельчения сырья;
4. Сушильного комплекса СК-3;
5. Смешивания подготовленного сырья;
6. Грануляции подготовленной биомассы;
7. Охлаждения и фасовки готовой продукции.

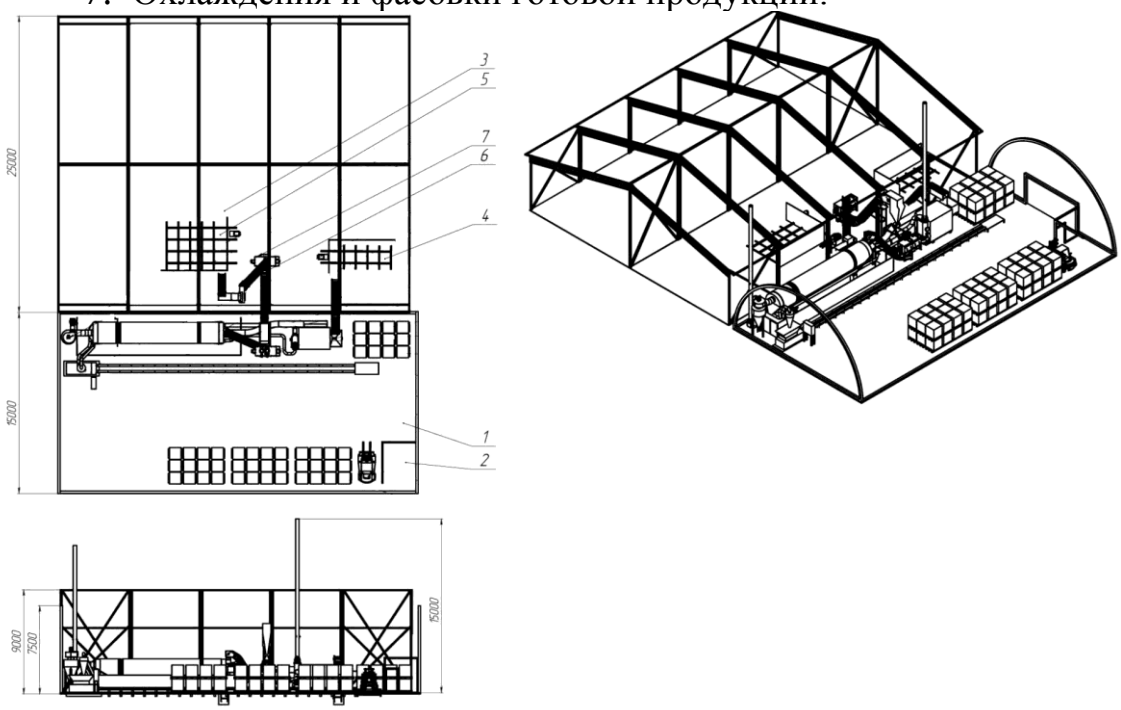



Рис. 2. Проект производственного помещения для линии производства пеллет из щепы. Производительность - 1 т/ч.

Узлы измельчения и предварительной подготовки сырья предназначены для подготовки к сушке и последующей грануляции фракций сырья нужного размера, а также очистки его от нежелательных примесей. На этом этапе выполняют окорку колод диаметром от 70 мм для получения пеллет класса **ENplus A1**, измельчение колод до размера щепы, и измельчение щепы до фракции частиц, необходимого для грануляции размера.

При измельчении древесины следует обращать внимание на такие особенности технологического процесса:

- для механического измельчения древесины можно использовать технологии раскалывания, помола и резания;

- измельчение влажной древесины требует меньших затрат энергии, по сравнению с сухой, и следовательно, является более эффективным экономически.

На основе анализа особенностей переработки древесины с точки зрения преобразования биополимеров [5, 6], можно сделать такие выводы:

1) при выборе технологии измельчения древесины необходимо использовать такое оборудование, которое ориентировано именно на работу с древесиной, как упруго-пластичным и пористым материалом. Например, оборудование для измельчения зерна – хрупкого материла, требует других технологических подходов. Среди наиболее подходящих для измельчения древесины механизмов - шредеры и барабанные измельчители. Они отличаются использованием технологии раскалывания, в то время как действие дисковых измельчителей основано на использовании эффекта рубки. Ножевые режущие установки, диспергаторы с эффектом размалывания эффективнее молотковых измельчителей, использующих для измельчения эффект удара (рис. 3, 4);

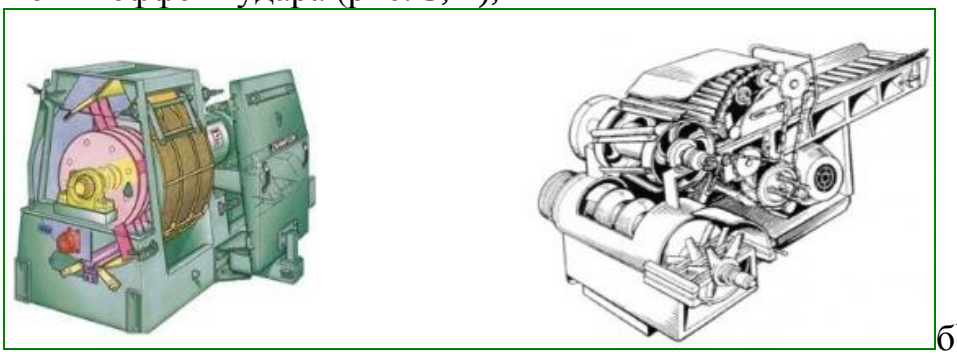
а)  б)

Рис. 3. Молотковый (а) и режущий (б) измельчители

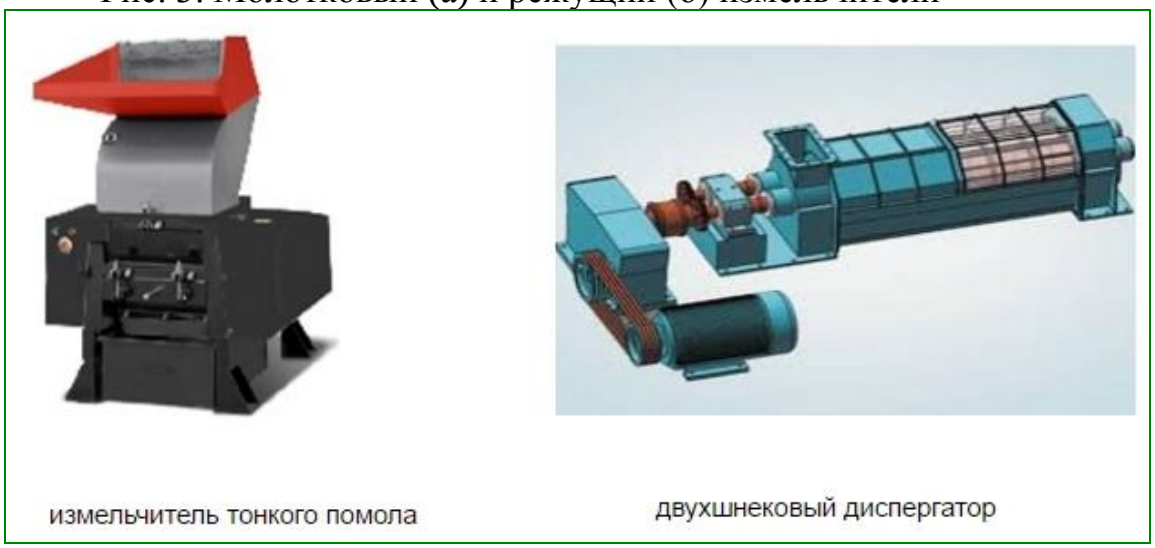



Рис. 4. Измельчители тонкого помола

2) с точки зрения минимизации энергозатрат, все этапы измельчения сырья выгодно проводить до его сушки (рис. 5). При этом сам процесс обезвоживания будет интенсифицирован, а его скорость повысится. В результате время, необходимое для сушки, будет сокращено, а эффективность и производительность сушки будут повышены. Это приведет к экономии удельных производственных расходов за счет снижения затрат электроэнергии на этапах измельчения сырья перед грануляцией;

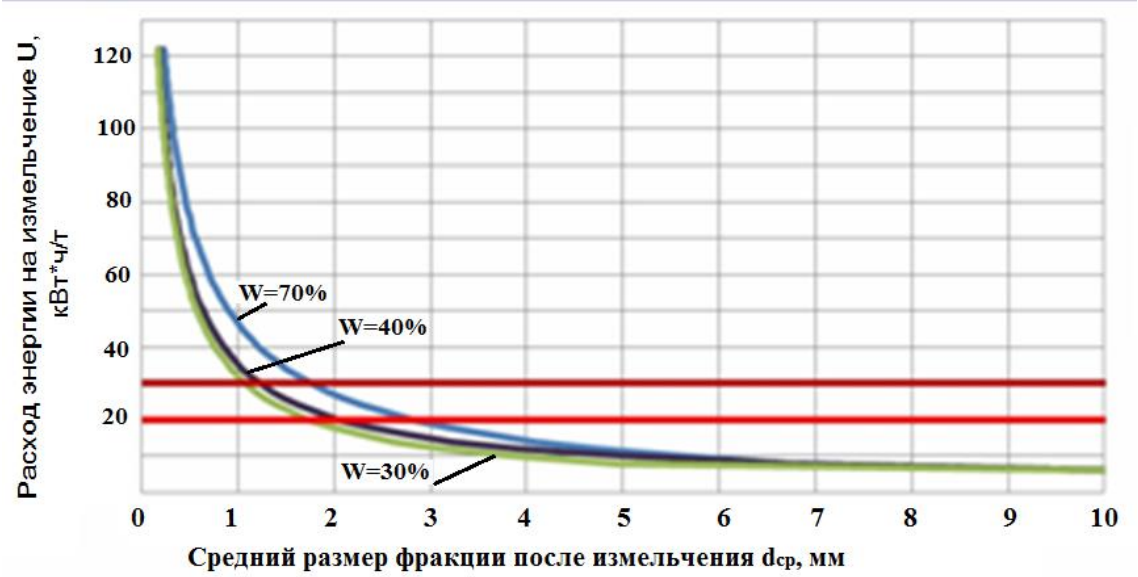



Рис. 5. Зависимость потребления энергии при одностадийном измельчении от глубины измельчения для биомассы разной влажности

3) контроль качества измельчения и просеивание сырья с использованием барабанных сепараторов и активных циклонов [2, 3] после каждого этапа измельчения, является важной особенностью участка измельчения. Необходим переход на многостадийное измельчение (рис. 6) с возвратом недостаточно измельченного ценного сырья в производственный процесс после каждой стадии измельчения. При этом уменьшатся потери сырья. А в готовой продукции будет увеличено содержание самой качественной, мелкой фракции, что повысит его удельную теплотворную способность.

Многостадийное измельчение (рис. 6) также помогает соблюсти "золотое правило измельчения" – значительную экономию энергии при поэтапном измельчении сырья в разных аппаратах линии пеллетирования. Это приводит к экспоненциальному снижению затрат на измельчение.

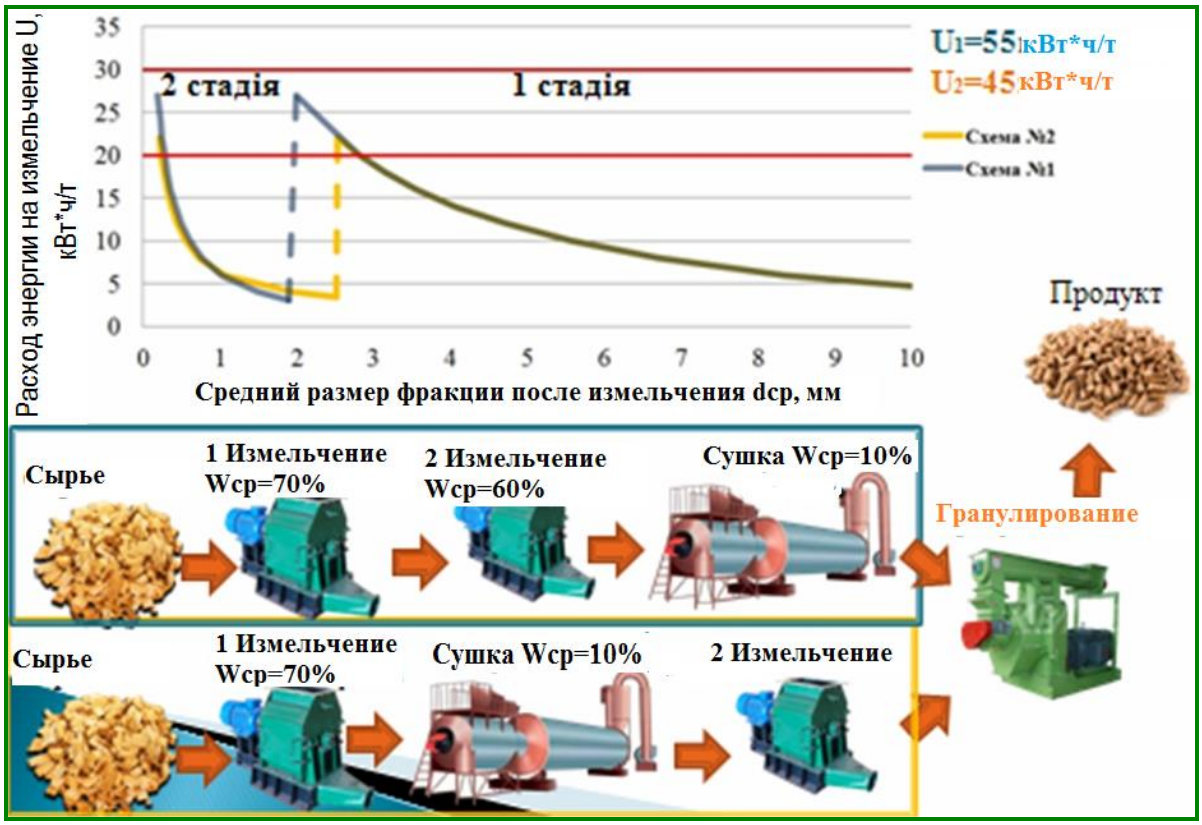



Рис. 6. Варианты комбинаций стадий измельчения молотковыми дробилками с учетом зависимости энергозатрат при двухстадийном измельчении влажного сырья до мелкой фракции (x<0,63)

Применение многостадийного процесса измельчения сырья до фракции древесной муки, необходимого для производства одной тонны пеллет из поленьев, можно выполнить с энергозатратами около 100 кВт*ч, вместо обычных 160-180 кВт*ч. Это позволит на комплексе производительностью 1 т/ч экономить около $12 тыс. ежегодно только на электропотреблении участка измельчения. Также многостадийность измельчения значительно снижает количество поломок и износ оборудования, что также удешевляет технологический процесс. Общий расчет затрат для линии грануляции, использующей технологию изготовления поверхностно-остеклованных пеллет, показан в таблице 1 и диаграмме на рис. 7.

Этап сушки и прогрева сырья перед грануляцией в технологической линии производства поверхностно-остеклованных пеллет обеспечивает оборудование сушильного комплекса СК-3.

Этапы грануляции, охлаждения гранул и фасовки в технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет аналогичны тем, которые используют в классической комбикормовой технологии. Преимущество состоит в повышении производительности гранулятора, и уменьшении доли гранул, которые рассыпаются на этапе охлаждения и фасовки.

Таблица 1

**Сравнение параметров технологий для пеллетирующего оборудования. Производительность 1/ч из сырья с относительной влажностью 50%**

| Параметр | Комбикормовая технология | | | | МБ-3 | | | Торрефикация | | Древесный уголь |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Белые пеллеты ENplus B (сушка 300$^0$C) | Белые пеллеты ENplus B (сушка 120$^0$C) | Поверхностно-остекло-ванные пеллеты ENplus A2 (сушка 180$^0$C) | Поверхностно-остекло-ванные пеллеты ENplus A1 (сушка 120$^0$C) | Остеклованные пеллеты ENplus A1 (90$^0$C) | Плавленый биоуголь (120$^0$C) | Плавленый биоуголь (140$^0$C) | Торреф. пеллеты (сушка 220$^0$C) | Торреф. пеллеты (сушка 300$^0$C) | |
| Теплотворная способность, мДж/кг | 17 | 17,5 | 18 | 18 | 19 | 21 | 22 | 21 | 22 | 26 |
| Входящая сырьевая фракция | щепа | бревно | щепа | бревно | щепа | щепа | щепа | щепа | щепа | дрова |
| Потеря массы, % | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5% | 10% | 15% | 30% | 67% |
| Возможное количество дней работы в течение года | 250 | 250 | 345 | 345 | 345 | 345 | 345 | 230 | 230 | 325 |
| Количество дней ремонта в год | 40 | 40 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 60 | 60 | 40 |
| Расход электроэнергии, кВт*ч/т | 170 | 260 | 150 | 215 | 150 | 170 | 190 | 180 | 200 | |
| Расход сырья на сушку, % | 30 | 30 | 23 | 23 | 0 | 0 | 0 | 40 | 50 | |
| Себестоимость производства (1 т/ч) | 89 | 104 | 73 | 89 | 57 | 60 | 63 | 115 | 151 | 200 |
| Капитальные затраты (тыс. $/(1т/ч) | 250 | 500 | 350 | 450 | 800 | 800 | 800 | 800 | 800 | 2 200 |
| Срок хранения готовой продукции. vtczwtd | 1 | 6 | 18 | 18 | 72 | 72 | 72 | 24 | 36 | 72 |
| Цена оптовая, $/т | 100 | 150 | 110 | 150 | 150 | 170 | 180 | 170 | 180 | 300 |

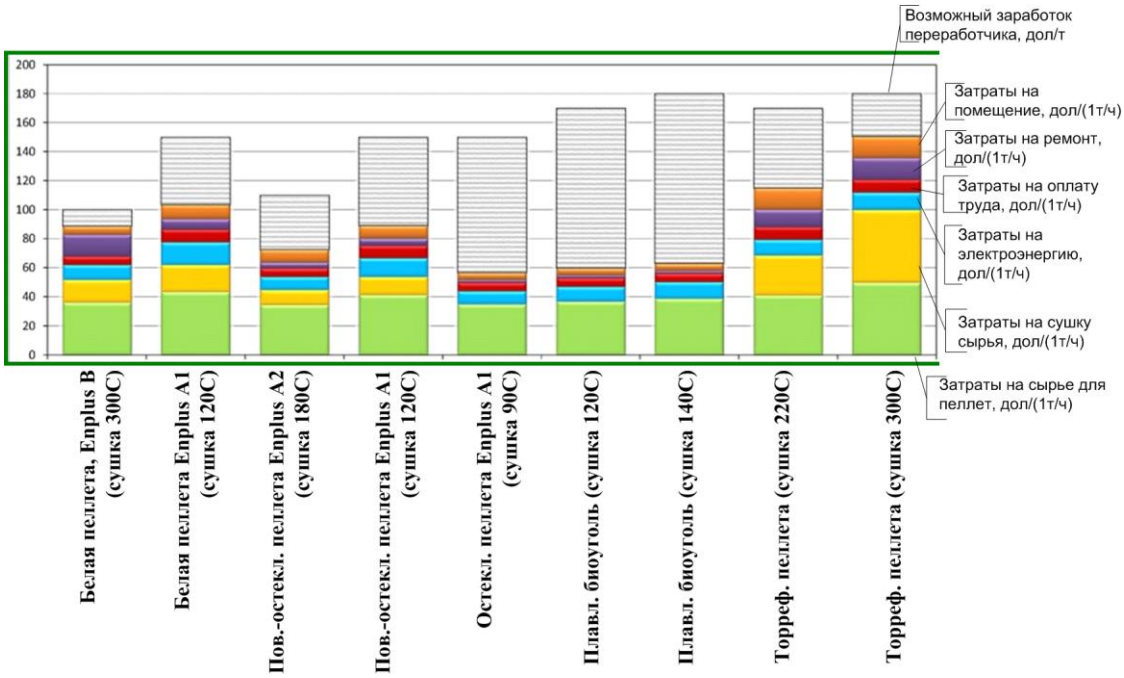



Рис. 7. Сравнение себестоимости производства топливных пеллет для разных технологий

Преимущества предлагаемой линии для производства поверхностно-остеклованных пеллет представлены в таблице 2.

Важным аспектом создания экономически эффективного комплекса по производству повреxностно-остеклованных пеллет является система автоматизации, которая оптимально регулирует все этапы технологического процесса.

**Выводы.**

Впервые предложенная линия по производству поверхностно-остеклованных пеллет на базе сушильного комплекса СК-3 обладает такими основными преимуществами по сравнению с традиционным оборудованием АВМ-1,5:

1) За год эксплуатации потребляет на 10% меньше сырья, что соответствует приблизительно 800 тоннам биомассы и $15 тыс. экономии средств на приобретение сырья.

2) На переработку 1 тонны биомассы потребляет на 100 кВт*ч электроэнергии меньше, что соответствует общему энергопотреблению 600 МВт·ч или $35 тыс. экономии на оплату электроэнергии в год.

3) Для грануляции 1 тонны сырья в час в технологической линии СК-3 можно использовать только один гранулятор ОГМ-1,5. А в линии на базе АВМ-1,5 необходимо использовать два таких гранулятора. Это приводит к удорожанию стоимости линии (повышению капитальных затрат) и повышает удельные эксплуатационные расходы.

Таблица 2

**Преимущества линии для производства поверхностно-остеклованных пеллет**

| № п/п | Технологическое решение | Результат* | Финансовый показатель* |
|---|---|---|---|
| 1 | Измельчение влажного сырья. | Уменьшение энергопотребления на стадии измельчения (около 30 кВт*ч на тонну производимых пеллет) и снижение износа измельчителей (продление срока службы в 1,5-5 раз). | Экономия до $20 000 в год. |
| 2 | Применение ножевого измельчения. | | |
| 4 | Применение истирающих измельчителей. | | |
| 2 | Переход к многостадийному измельчению, применение просеивателей измельченного сырья | Контроль качества помола, уменьшение износа оборудования, обеспечение корректной работы сушки. | |
| 5 | Адаптированный к использованию мелкодисперсионной биомассы сушильный комплекс СК-3. | Контроль за качеством сушки, пожарная безопасность**, снижение затрат сырья, используемого в качестве топлива. | Экономия от $25 000 в год** |
| 6 | Сушка чистым воздухом. | Обеспечение качественного сырья, возможность производить гранулы класса ENPlus A2, ENPlus A1. | Дополнительная прибыль от $100 000 в год*** |
| 7 | Подогрев сырья | Увеличение производительности гранулятора до 90% за год. | Дополнительная прибыль от $35 000 в год. |
| 8 | Климатическая термокомпенсация. | Стабилизация производства пеллет вне зависимости от сезонных колебаний на уровне 1000 кг/час с OEM 1,5. | |
| 9 | Автоматизация и контроль технического процесса. | Экономия сырья, используемого в качестве топлива (до 15% от общего объема сырья в год). | Экономия до $15 000 в год. |
| 10 | Разделение потоков воздуха, используемых для сушки и для переноса сырья. | Уменьшение потребления ресурсов на этапе сушки на 50% (100 кВт*ч/ т пеллет). | Экономия до $35 000 в год. |
| *По сравнению с распространенными линиями на базе АВМ-1,5 при работе 7000 часов/год. | | | |
| ** По статистике, при использовании сушек АВМ, один раз за 2 года работы линии происходят пожары. Под экономией подразумевается защита от потери производственной линии или получения убытков на сумму сгоревшего оборудования. Не учитывается неполученная прибыль в результате вынужденного простоя. | | | |
| *** Возможность сертификации и продажи пеллет по цене от $200/тонну при торговле напрямую со странами ЕС. | | | |

4) Использование СК-3 позволяет производить экологически чистые пеллеты класса EN1plus. Продавая такие пеллеты на рынке в Европе и Украине, получают прибыль на 50-300% выше, чем при производстве не сертифицированных пеллет.

5) Применение сушильного комплекса СК-3компенсирует влияние климатических условий на качество производимой пеллетной продукции. При этом количество продукции, которую прессуют на ОГМ-1,5 возрастает почти в 2 раза. Т. е. производительность ОГМ-1,5 возрастает на 3500 т/год, и дает дополнительно прибыль в $35 тыс.

6) Применение сушильного комплекса СК-3 снижает износ матриц гранулятора за счет повышения реакционной способности перерабатываемого сырья.

Все линии по пеллетированию биомассы, разработанные компанией на базе технологии производства поверхностно-остеклованных пеллет, получают гарантию качества продукции и выгодно отличаются от оборудования, предлагаемого другими производителями, которые в своих проектах не учитывают особенности технологии переработки биополимеров.

**Список використаних джерел**

1. *Бунецький В.* Тверде біопаливо. Необхідність галузевого рішення. *Проблеми теплофізики та теплоенергетики*: матеріали X Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 23-26 травня 2017 р.). URL: http://ittf.kiev.ua/konferenciy/2017-nan-ukra%D1%97ni-ye-organizatorom-abo-spivorganizatorom/x-mizhnarodna-konferenciya-problemi-teplofiziki-ta-teploenergetiki/programa/ (дата звернення: 13.03.2019).

2. Циклон малого диаметра с активным инерционным пылеуловителем ЦсАИП-4+. Руководство по эксплуатации. ТУ У 29.5-2571100774-001:2011. 24 с.

3. *Корінчук Д. М.* Обґрунтування енерговитрат стадії подрібнення в технологіях виробництва біопалив. *Науковий вісник НУБіП України. Сер. Техніка та енергетика АПК.* 2018. № 268. С. 90-100.

4. *Корінчук Д. М.* Вплив температурної та фізико-механічної активації біомаси на енерговитрати процесу пресування біопалив деревинного та рослинного походження. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2018. Т. 28, № 5. С. 111-118.

5. *Бурдо О. Г., Семков С. В., Сталимбовская А. С.* Энергетический мониторинг пищевых технологий. *Интегрированные технологии и энергосбережение.* 2007. № 3. С. 71-78.

6. *Бандура В. М., Маренченко О. І., Пилипенко Є. О.* Енергетичний моніторинг олійного виробництва. *Наукові праці*

*[Одеської національної академії харчових технологій]*. 2017. Т. 81, вип. 1. С. 39-44.

# ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВО-ОСКЛОВАНИХ ПЕЛЕТ – ЗАПОРУКА СТВОРЕННЯ ЕФЕКТИВНОГО ПЕЛЛЕТНОГО ВИРОБНИЦТВА

**Бунецький В. А., Бондаренко М. В.**

**Метою** розробляння технології виготовлення високоякісних поверхнево засклованих пелет з біомаси, що будуть сертифіковані за європейськими стандартами, є проектування та впровадження на її базі сучасного технологічного обладнання. Розроблена технологія повинна ураховувати конкретні фізико-хімічні та реологічні властивості сировини, та відповідно до них визначати метод підготування, деструкції та пресування готової продукції. Науково-технічне обґрунтування такої технології дасть змогу на практиці побудувати прибуткове пелетне виробництво, що працюватиме ефективно. Під час розробляння технології виробництва поверхнево засклованих пелет було використано такий **метод** зміни структури деревини та інших видів біомаси, за використання якого здійснюється перехід термопластичних біополімерів з твердого пружно-в'язко-пластичного стану до засклованого. Ці перетворення реалізуються у деревині під дією комплексу фізичних факторів (температури та тиску) в умовах певної вологості. Головним результатом використання розробленої технології є її успішне застосування у конструкції та режимах експлуатування у лінії з виробництва поверхнево засклованих пелет на базі сушильного комплексу СК-3.

Вперше запропонована лінія з виробництва поверхнево засклованих пелет на базі сушильного комплексу СК-3 має такі основні переваги порівняно з традиційним обладнанням АВМ-1,5:

1) за рік експлуатування споживає на 10% менше сировини (800 тон біомаси, або $15 тис. економії на сировині);
2) на переробку 1 тони біомаси споживають на 100 кВт електроенергії менше, що відповідає економії 600 Мвт*ч або $35 тис. на рік;
3) для грануляції 1 тони сировини на годину СК-3 використовує один гранулятор ОГМ-1,5, а для АВМ-1,5 необхідно два таких гранулятора;
4) використання СК-3 дозволяє виробляти пелети класу EN1plus.

***Ключові слова:*** сушіння біомаси, пелети, сушильний комплекс СК-3, енергоефективність, питомі виробничі витрати, багатостадійне подрібнення.

# THE SURFACE-GLAZED PELLETS TECHNOLOGY USING IS GUARANTEE EFFECTIVE PELLETS MANUFACTURE

**V. Buneckiy, M. Bondarenko**

**Summary**

The technology for the production of high-quality surface-glazed pellets from biomass certified according to European standards developing purpose is the design and

implementation of modern technological equipment on its base. The developed technology should take into account the specific physical, chemical and rheological properties of raw materials and according to them determine the preparation method, destruction and compression of finished products. The scientific and technical justification of such technology will enable to build in practice a profitable pellet production that will work efficiently. During the development of the surface-glazed pellets production technology, this method was used to change the structure of wood and other types of biomass, which using allows the thermoplastic biopolymers transition from solid elastic-visco-plastic condition to a glazed. These transformations are realized in wood under the influence of a complex of physical factors (temperature and pressure) under conditions of certain humidity. The main result of developed technology using is its successful application in the design and operating modes in the production line of surface-glazed pellets based on the CK-3 drying complex.

**Conclusions.** The first proposed line for surface-glazed pellets production on the basis of the CK-3 drying complex has the following main advantages in comparison to traditional equipment ABM-1,5:

1) consumes 10% less raw material per year (800 tons of biomass, or $ 15 thousand of raw materials);

2) for recycling 1 ton of biomass consumes 100 kW less of electricity, which corresponds to saving 600 MW * h or $ 35 thousand per year;

3) For granulation 1 ton of raw material per hour CK-3 uses one granulator OGM-1,5, and for ABM-1,5 two such granulators are necessary;

4) the CK-3 using allows the production of EN1plus class pellets.

**Keywords:** biomass drying, pellets, drying complex CK-3, energy efficiency, specific production costs, multistage chipping of wood.

**УДК 631.312.32:001.57** **DOI 10.31388/2220-8674-2019-1-5**

# МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТУПЕНЮ ІДЕНТИЧНОСТІ ТА АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Дюжаєв В. П., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-3744-2502**
**Бондаренко Л. Ю., к. т. н.** **https://orcid.org/0000-0001-5858-7375**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. 38 (0-96)791-78-80, e-mail: vdyuzaev@i.ua

***Анотація*** – сільськогосподарські агрегати представлено у якості багатомірних динамічних систем на які діють різноманітні впливи. При розробці математичних моделей враховуються не усі впливи, а тільки головні, які роблять основний вплив на динамічні характеристики об'єкту дослідження. Для ґрунтообробних агрегатів прийнято опір ґрунту, якщо досліджується тяговий опір знаряддя. В статистичних розрахунках можливо використання інформаційної або дисперсійної оцінки цього припущення. В результаті імітаційного моделювання динаміки взаємодії корпусу плуга на пружно-шарнірної підвіски з ґрунтом та проведення експериментального дослідження динамічної системи в умовах нормальної функціювання визначено адекватність моделі об'єкту дослідження та ступінь ідентичності моделі. Для кількісної оцінки ступеня ідентичності моделі застосовуємо дисперсійну оцінку $\xi = D_F / D_x$. Чисельне ступінь ідентичності $\xi$ дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції $\rho^2$ між випадковою величиною у на вході і вихідної змінної x. В результаті дослідження динамічної системи «корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт» на агрегаті, що складається з трактора Т-150 К і плуга ПЛП 5 – 35 на швидкості агрегату $V = 2$ м / с, з циліндричною пружиною постійної жорсткості $C = 240 \cdot 10^3$ Н / м і конічною пружиною змінної жорсткості з нелінійною характеристикою пружності отримуємо значення коефіцієнта кореляції $\rho = 0{,}86$, отже, ступінь ідентичності моделі $\xi = 0{,}74$. Це підтверджує що для вирішення поставлених завдань динаміки досить врахувати один вхідний фактор - опір ґрунту, який з високою ступенем ідентичності впливає на вихідну змінну – тяговий опір корпусу плуга на пружній підвісці. Для визначення адекватності моделі, при великій вибірці вимірювань, застосовуємо критерій Пірсона. Адекватність моделі підтверджена, тому що табличне значення критерію згоди $P(\chi^2; q) = 0{,}994$, що більше рівня значущості $[1 - \Phi(x)] = 0{,}1$.

***Ключові слова:*** адекватність, ідентичність, математична модель, обробіток ґрунту, корпус плуга, динаміка взаємодії, критерій Пірсона

**Постановка проблеми.** Відомо, що для ґрунтообробних машин визначення динамічних характеристик може бути різноманітним у зв'язку з тим, що сільськогосподарські агрегати є багатомірними динамічними системами та спектральна щільність $S_y(\omega)$ вихідної технологічної або енергетичної змінної є результатом декілька вхідних впливів. Тому при побудові математичної моделі не

© Дюжаєв В. П., Бондаренко Л. Ю.

враховуються всі впливи на ґрунтообробне знаряддя і практично враховуються тільки найбільш головні чинники, які роблять основний вплив на тяговий опір об’єкту дослідження. Для ґрунтообробних агрегатів такими головними впливами є опір ґрунту та нерівність поверхні поля.

**Аналіз останніх досліджень.** Апріорі домінуючим впливом ми приймаємо опір ґрунту. В статистичних розрахунках можливо використання інформаційної або дисперсійної оцінки цього припущення [1]. При статистичному дослідженні ґрунтообробних агрегатів звичайно користуються дисперсійною оцінкою [2].

**Формулювання цілей статті.** З метою оцінки ступеня відповідності математичної моделі об'єкту дослідження необхідно виконати апробування результатів моделювання в реальних умовах функціонування об’єкту і провести оцінку ступеня ідентичності моделі.

**Основна частина.**

Для кількісної оцінки ступеня ідентичності моделі застосовуємо дисперсійну оцінку [2]

$$\xi = D_F / D_x, \quad (1)$$

де $D_F$ – дисперсія умовного математичного очікування що до фіксованих рівнів вхідних впливів;

$D_x$ – дисперсія вихідного процесу x (t).

Дисперсія $D_F$ визначає частку повної дисперсії тягового опору корпусу плуга, яка обумовлена впливом вхідного впливу - опору ґрунту. Інакше її називають дисперсією прогнозу $D_{пр}$. Оскільки

$$D_x = D_{пр} + D_{ост}, \quad (2)$$

де $D_{ост}$ – умовна середня дисперсія, яка визначає частку загальної дисперсії тягового опору, обумовлену неврахованими вхідними впливами.

Після перетворень отримуємо

$$\xi = 1 - D_{ост} / D_x. \quad (3)$$

Чисельне ступінь ідентичності $\xi$ дорівнює квадрату коефіцієнта кореляції $\rho^2$ між випадковою величиною у на вході і вихідної змінної x. Оцінку кореляційного зв'язку між двома процесами обчислюємо за формулою

$$\rho_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(x_i - \overline{m}_x)(y_i - \overline{m}_y)}{(N-1)\cdot \overline{\sigma}_x \cdot \overline{\sigma}_y}, \quad (4)$$

де x, y – поточні значення тягового опору x(t) і опору ґрунту y(t);
$m_x$, $m_y$ - математичне очікування процесів x (t) і y (t);
$\sigma_x$, $\sigma_y$ – середньоквадратичне відхилення процесів x (t), y (t).

Вихідні дані для визначення коефіцієнта кореляції беремо з результатів дослідження динамічної системи «корпус плуга на пружній підвісці - ґрунт». Апробування результатів дослідження виконувалося на полях П.Ф.ІМЕСХ УААН (с.м.т. Якимівка, Запорізької обл.). Методика дослідження описана в роботі [3, 4]. Експеримент виконувався на агрегаті, що складається з трактора Т-150 К і плуга ПЛП 5 - 35. При цьому проводився синхронний запис опору ґрунту R(t), тягового опору корпусу плуга P(t) пружно закріпленого і корпусу плуга P(t) закріпленого жорстко. Випробування проводилися згідно оптимальним параметрам роботи плуга. Швидкість агрегату становила V= 2 м/с, при цьому на пружну підвіску були встановлені змінні циліндричні пружини постійної жорсткості C = 240 · 10³ Н/м і конічна пружина змінної жорсткості з нелінійної характеристикою пружності.

Після обчислень отримуємо значення коефіцієнта кореляції ρ=0,86, отже, ступінь ідентичності моделі ξ = 0,74. Це говорить про те, що для вирішення поставлених завдань динаміки достатньо врахувати один вхідний фактор – опір ґрунту, який з високим ступенем ідентичності впливає на вихідну змінну – тяговий опір корпусу плуга на пружній підвісці.

Для визначення адекватності моделі, при великій вибірці вимірювань, застосовуємо критерій Пірсона [5, 6]. Адекватність моделі підтверджується, якщо виконується умова

$$P(\chi; q) > \alpha, \quad (5)$$

де α = 1 - Ф (x) – рівень значущості, приймаємо α = 0,1;
χ – критерій згоди Пірсона;
q - число ступенів свободи.

$$Q = m - S, \quad (6)$$

де m - число вимірювань в одній серії експерименту;
S- число використовуваних зв’язків.

$$\chi^2=\Sigma\,[(y_{Эi}-y_{Ti})/y_{Ti}]\,, \qquad (7)$$

де $y_{Эi}$, $y_{Ti}$ - частота в кожній групі реалізацій за даними експерименту і теоретичної кривої, відповідно.

Теоретична щільність розподілу визначається за виразом

$$y_T=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp[-\frac{(y_i-m_y)^2}{2\sigma^2}]\,, \qquad (8)$$

де σ – середньоквадратичне відхилення,
m – математичне очікування.

Таблиця 1

**Значення частот по експериментальним і теоретичним даним**

| $y_{эi}$ | 0,001 | 0,002 | 0,007 | 0,009 | 0,012 | 0,010 | 0,006 | 0,003 | 0,001 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $y_{Ti}$ | 0,000001 | 0,00013 | 0,0014 | 0,0072 | 0,016 | 0,016 | 0,0072 | 0,0014 | 0,00013 |

Обчислюємо критерій згоди $\chi^2 = 0{,}25$. За кількістю розрядів m=9, числу ступенів свободи q=7, визначаємо табличне значення критерію згоди P (0,25; 7). Отримуємо значення $\chi^2 = 0{,}994$. Оскільки табличне значення критерію згоди більше рівня значущості (0,994 > 0,1), адекватність задовольняється.

**Висновки.** Апробування результатів моделювання, виконане згідно найкращим параметрам роботи плуга на швидкості V = 2 м / с зі змінними циліндричної пружиною постійної жорсткості C = 240·10³Н/м і конічної пружиною змінної жорсткості, підтвердили адекватність математичної моделі об'єкту дослідження. Адекватність моделі підтверджена за критерієм Пірсона, так як табличне значення критерію згоди P ($\chi^2$; q) = 0,994, що більше рівня значущості [1 – Ф (x)]= 0,1. Кількісна оцінка ідентичності моделі, отримана за результатами дослідження, дала значення ступеня ідентичності ξ = 0,74, що дає нам право враховувати тільки один вхідний фактор – опір ґрунту, який чинить робить основний вплив на тяговий опір корпусу плуга.

**Список використаних джерел**

1. *Райбман Н. С., Чадеев В. М.* Построение моделей процессов производства. М.: Энергия, 1975.- 375 с.

2. *ЛурьеА. Б., Любимов А. И.* Широкозахватные почвообрабатывающие машины. Л.: Машиностроение. 1981. 270 с.

3. *Дюжаев В. П., Рогач Ю. П.* Апробирование результатов моделирования корпуса плуга на упругой подвеске // Праці ТДАТА. Вип. 31. Мелітополь, 2005. С. 62-68.

4. *Дюжаев В. П.* Исследование математической модели динамической системы «корпус плуга на упругой подвеске - почва».// Праці ТДАТА. Вип. 27. Мелітополь, 2005. С. 97-101.

5. *Лурье А. Б.* Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. Л.: Колос, 1970. 376 с.

6. *Доспехов Б. А.* Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат. 1985. 351 с.

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ИДЕНТИЧНОСТИ И АДЕКВАТНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТУ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. П. Дюжаев, Л. Ю. Бондаренко

**Аннотация** – сельскохозяйственные агрегаты представлены в качестве многомерных динамических систем при действующих разнообразных воздействиях. При разработке математических моделей учитываются не все воздействия, а только главные, которые делают основное влияние на динамические характеристики объекта исследования. Для почвообрабатывающих агрегатов основным воздействием принято сопротивление почвы, если исследуется тяговое сопротивление орудия. В статистических расчетах возможно использование информационной или дисперсионной оценки этого допущения. В результате имитационного моделирования динамики взаимодействия корпуса плуга на упруго-шарнирной подвески с почвой и проведения экспериментального исследования динамической системы в условиях нормального функционирования определены адекватность модели объекта исследования и степень идентичности модели. Для количественной оценки степени идентичности модели применяем дисперсионную оценку $\xi = D_F / D_x$. Численно степень идентичности $\xi$ равна квадрату коэффициента корреляции $\rho^2$ между случайной величиной *y* на входе и выходной переменной *x*. В результате исследования динамической системы «корпус плуга на упругой подвеске - почва» на агрегате, состоящего из трактора Т-150 К и плуга ПЛП 5 - 35 на скорости агрегата V = 2 м / с, с цилиндрической пружиной постоянной жесткости С = 240 · 10³ Н / м и конической пружиной переменной жесткости с нелинейной характеристикой упругости получаем значение коэффициента корреляции $\rho = 0{,}86$, следовательно, степень идентичности модели $\xi = 0{,}74$. Это подтверждает что для решения поставленных задач динамики достаточно учесть один входной фактор – сопротивление грунта, который с высокой степенью идентичности влияет на исходную переменную – тяговое сопротивление корпуса плуга на упругой подвеске. Для определения адекватности модели, при большой выборке измерений, применяем критерий Пирсона. Адекватность модели подтверждена, так как табличное значение критерия согласия $P(\chi^2; q) = 0{,}994$, что больше уровня значимости $[1 - \Phi(x)] = 0{,}1$.

# METHOD OF DETERMINATION OF THE STUDY OF IDENTITY AND ADEQUACY OF THE MATHEMATICAL MODEL OF THE STUDY OBJECT

V. Diuzhaiev, L. Bondarenko

**Summary**

Agricultural units are presented as multidimensional dynamic systems with a variety of impacts. When developing mathematical models, not all influences, but only the main ones, which have a maj or impact on the dynamic characteristics of the research object, are taken in to account. For soil cultivating units resistance to soil is accepted, if traction resistance of an instrument is investigated. In statistical calculations it is possible to use an information or dispersion estimate of this assumption. As a result of simulation of the dynamics of the interaction of the plow body with the elastic-hinged suspension with soil and the experimental study of the dynamic system in conditions of normal operation,, the adequacy of the model of the research object and the degree of identity of the model is determined. For a quantitative assessment of the model's identity, we use the dispersion estimate $\xi = D_F / D_x$. The numerical degree of identity $\xi$ is equal to the square of the correlation coefficient $\rho^2$ between the random variable y on the input and the output variable x. As a result of the study of the dynamic system "plow case on an elastic suspension - soil" on an aggregate consisting of a tractor T-150 K and a plow PLP 5 to 35 at the aggregate speed V = 2 m / s, with a cylindrical spring of constant stiffness $C = 240 \cdot 10^3$ N / m and a conical spring of a rigidity variable with a non linear elasticity characteristic we obtain the value of the correlation coefficient $\rho = 0{,}86$, hence, the degree of identity of the model $\xi = 0.74$. This confirmsthatinordertosolvethesettasksdynamicsitisenoughtotakeintoaccountoneinputfactor – the resistance of the soil, which, with a high degree of identity, affects the output variable – the traction resistance of the plow body on an elastic suspension. To determine the adequacy of the model, with a larges ample of measurements, we apply the Pearson criterion. The adequacy of the model is confirmed, because the table value of the agreement criterion $P(\chi^2; q) = 0.994$, which is greater than the significance level $[1 - F(x)] = 0.1$.

**UDC 621.331** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-6**

# THE AUTOMATED METHOD OF CHECKING THE TRACK CIRCUITS PARAMETERS

**Serdiuk T.**, PhD, https://orcid.org/0000-0002-2609-4071
*Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*
e-mail: serducheck-t@rambler.ru
**Kuznetsov V.**, PhD http://orcid.org/0000-0002-8169-4598
*National metallurgical academy of Ukraine*
e-mail: wit_jane2000@i.ua
**Serdiuk K.**,
*Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*
e-mail: serducheckt@gmail.com
**Nikolenko A.**, PhD, http://orcid.org/0000-0003- 3808-4249
*National metallurgical academy of Ukraine*

***Summary*** - the automated method of measuring parameters of code current and primary and secondary parameters of track circuits were elaborated. The mathematic model of automatic locomotive signaling system channel was improved and it is considered in this paper. The algorithms of definition of parameters of track circuit are offered.

***Keywords*** **– track circuit (TC); measurement; code current; track circuit parameters; amplitude; time parameters of codes; traction current, harmonics**

## INTRODUCTION.

There are six Railways in the Ukrzaliznytsia. The Pridnyprovska Railway has railway sections at the 3 kV d.c. traction (93.3 %) and autonomous (diesel) traction (6.7 %). It was founded since 1873 year. The length is 3275 km. The Pivdenna (Southern) Railways has railway section at the 25 kV a.c. and at the 3 kV d. c. traction (33.5 %) and autonomous traction (64.5 %). Their length is 3000 km. It was founded from 1868. The Pivdenno-Zakhidna (Southen-West) Railway was founded since 1870. Their length is 4668 km. There are railways at the 25 kV a.c. traction (35%) and autonomous traction (65 %). The Lviv Railway has 4521 km and it was building in 1861. It is more oldest from all Railways of Ukrzaliznytsia. It has all kinds of traction system. The 3207 km (71 %) from all length of Lviv Railway is equipped by the electric traction. There were electrified 469

© Serdiuk T., Nikolenko A., Serdiuk K., Kuznetsov V.

km of railway lines at the 25 kV a.c. traction with shielding and powering wires. The Odessa Railway has near 4000 km. There are sections at the 25 kV a.c. traction (1708 km or 41 % from all) 3 kV d.c. traction (1.6 km) and diesel traction (2492 km or 59 %). It was built in 1865. Since 1997 it was electrified 63 km of lines by the a.c. 25 kV 50 Hz. Since 2015 the Donetsk Railway has 1616.7 km instead 2861.8 km and 639 km (40 %) is electrified by the d.c. traction from it predominantly.

It was electrified 1571 km of railways: 1184 km at te a.c. traction (Lviv, Pivdenno-Zakhidna, Pivdenna, Odesaa Railways) and 387 km at the d.c. traction (Donetsk, Pivdenna, Lviv Railways) since 1997 year and to the present time. So 47 % (10500 km from total length 22300 km) is railways by the a. c. traction of 25 kV 50 Hz (5500 km) and d. c. 3 kV (5000 km). Last time (1991 – 2018 years) the electrification of railways were carried out by the a. c. 25 kV 50 Hz.

The automatic locomotive signaling (ALS) system and automatic block systems use to transfer of the codes to the locomotive and receiving apparatuses of track circuit and to regulate traffic of trains on the railway sections. To transmit codes by the ALS canals (rail lines) it is applied signals at the 50 Hz frequency for railways with d. c. electrical traction and signals at the 25 and 75 Hz for a. c. electrical or autonomous traction. Also there are code and tonal track circuits (TTC) to control traffic of trains on railways of Ukraine. It was equipped 5200 km without isolative connection (known also as “velvet track”) since 2010. It is meant to applied of tonal track circuits TTC3 at the 420, 480, 580, 720, 780 Hz and at the modulation 8 and 12Hz frequencies, for example[1 – 6].

The code track circuits (TC) are the transferring channel of codes automatic locomotive signal system from track-devices to the locomotive. And they are a primary element directly determining safety of trains’ movement and they check integrity of rails [1]. The investigation of parameters code current and spectrum of traction current is necessary to control in pause of code at the using of method, which is assumed to measure with the help of special device of car-laboratory „Automatics, telemechanics and communication”. In given case it was carried out by the record of signal from one or two inductive coil of locomotive, which moved on the railway section. In result we able us a possibility to determine as the parameters of code current, flowing in rails and spectrum composition of return traction current, as the parameters of track circuits [2-5].

It is needed to elaborate method of automated measurement parameters of track circuits and harmonics of return traction current. It is allowed us to take into account different sources of electromagnetic influences. Most perspective from other method is automated measurement method on the

base of car-laboratory because it will allow us to proceed from scheduled preventive maintenance to repair on a status of object and to reduce number or staff and to raise safety of movement of trains.

The development of automated method of measurement parameters of TC and harmonics of return traction current from car-laboratory is an actual. To solve of this task it is necessary to develop of mathematic model of track circuit, which was worked in mode of occupancy by train (mode of automatic locomotive signaling (ALS)), to use the formula of electromotive force (EMF) of inductive coils of locomotive [9, 10], to create algorithms of determination of the track circuit serviceability and parameters of code current.

**MATHEMATIC MODEL OF THE ALS CHANAL.**

The equipment of car-laboratory uses for the definition parameters of code current in rails during measurement travel two times in year usually. The experimental data can be given with the help of special elaborated measuring system [6, 7], based in the car-laboratory for the control of parameters of code current. So there is a continuous communication between track and locomotive devices in the ALS system. The coils are situated before first wheel pair of locomotive and connect inductively with the current in rails, by the means of a magnetic field, series and towards each other (fig.1). Magnetic field is formed around of rails by the alternating code current. Thus, there is a separate channel of communication within the limits of each track circuit.

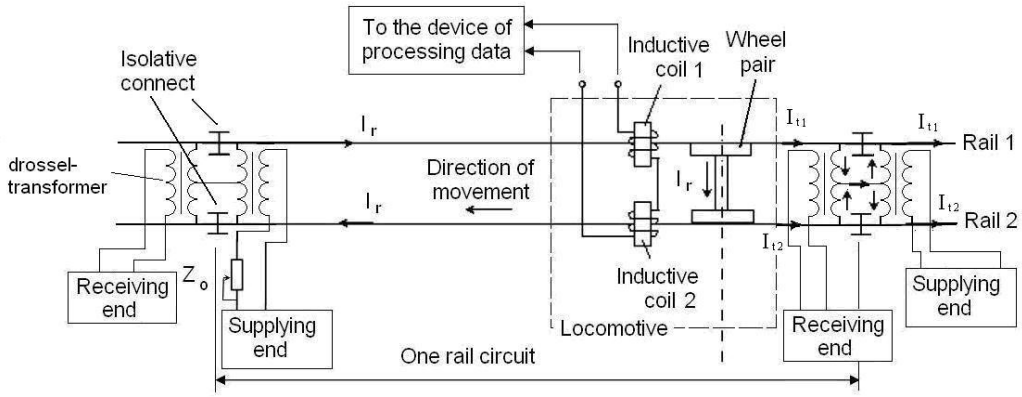



Fig. 1. Structure scheme of data transferring canal to the locomotive

For the definition of parameters of track circuit we used the equivalent scheme, given on the fig. 2. This scheme includes supplying end, rail lines and receiving end, each from which are four-poles accordingly. Four-poles of supplying and receiving end include intermediate and protective apparatuses, and four-pole of rail lines consist of only rails, connected with the help of electrical connections.

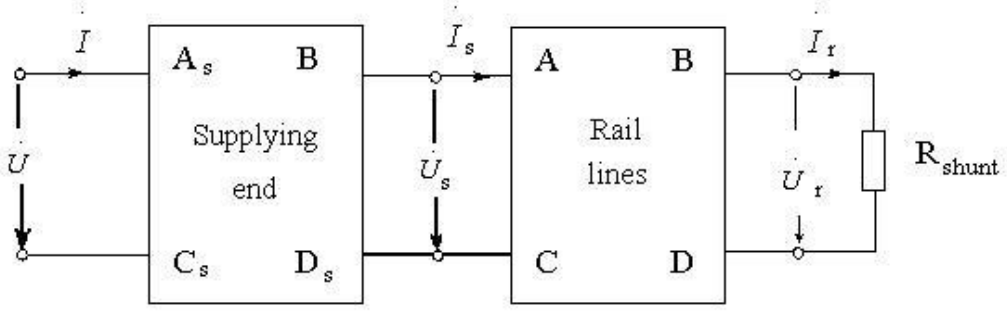



Fig. 2. Equivalent scheme of track circuits at the present train shunt on the receiving end

According with the theory of four-poles write system of equation of voltage and current in the begin of track circuit:

$$\begin{cases} \dot{U}_s = A_{sh} \times \dot{U}_r + B_{sh} \times \dot{I}_r \\ \dot{I}_s = C_{sh} \times \dot{U}_r + D_{sh} \times \dot{I}_r \end{cases}, \quad (1)$$

where $\dot{U}_s$, $\dot{I}_s$ – voltage and current in the begin of track circuits (supplying end),

$\dot{U}_r$, $\dot{I}_r$ – voltage and current in the end of track circuits (in the point of putting train shunt),

$A_{sh}, B_{sh}, C_{sh}, D_{sh}$ – coefficients of rails four-poles in the regime of automatic locomotive signalling.

Coefficients of rails four-poles in the regime of automatic locomotive signalling are equal:

$$A_{sh} = 1 + \frac{\bar{Z}}{R_{sh}}, \; B_{sh} = \bar{Z}, \; C_{sh} = \frac{1}{R_{sh}}, \; D_{sh} = 1, \quad (2)$$

where $\bar{Z} = \bar{z} \cdot l$ – impedance of rail line, Ohm,

$\bar{z}$ – specific impedance of rail lines, Ohm/km,

$l$ – distance between supplying end and locomotive, km,

$R_{sh}$ – resistance of train shunt,

$R_{sh} = 0,06$ Ohm.

So knowing value of current in the begin and end of track circuit and voltage on the outputs of generator, which should be equal minimal voltage of way's transformer $\dot{U}_s = \dot{U}_{\min}$ and can be taken from regulative tables [4], we are allowed to define impedance of rail lines

$$\bar{Z} = \frac{\dot{U}_{\min} - \dot{I}_r \cdot R_{sh}}{2 \cdot \dot{I}_r}, \quad (3)$$

The wave impedance and propagation coefficient are equal [3, 9]:

$$\bar{Z}_v = \sqrt{\bar{z} \cdot R_{is}}, \gamma = \frac{arcsinh(\sqrt{\bar{Z}_v R_{sh}})}{l} \quad (4)$$

where $R_{is}$ – equivalent resistance of isolation of rail line and grounding of supports of catenary, Ohm·km.

Thus, the resistance of isolation of rail line can be defined as

$$R_{is} = \frac{\bar{Z}_v^2}{\bar{z}}. \quad (5)$$

So, knowing the value of current in the begin and end of track circuits in the results of measurements with the help of equipment, established in the car-laboratory, and taking value of generator's voltage from regulation tables we can define primary and secondary parameters of track circuits

We have obtained the equation of EMF induced in the coils of ALS, which takes into account the wave delay effect, which occurs in tonal track circuits of high frequency and high-frequency noise. The resulting relationship between the current ALS and EMF can be used to determine the parameters of the code current by using the proposed hardware and software measuring complex, in which sensors are information locomotive coils [7, 9, 10].

**DEFINITION OF TRACK CIRCUIT PARAMETERS.**

The designed hardware and software measurement system can record the signal from the output of the filter of the ALS system, as required by the instructions for maintenance of signaling, centralization and blocking devices [1], and the outputs of the receiving coils. Signal recorded by the receiving coils of ALS, is the amount of code signals from ALS and traction current with all its harmonics, and transients that occur during operation of the locomotive. And therefore, this device allows us to analyze not only the temporal and amplitude parameters of codes of ALS, but also assess the impact of noise on the automation systems and analytically determine their cause.

It is proposed to use following method for the definition of parameters of track circuit from car-laboratory. The technique of control of the parameters of track circuits from car-laboratory includes measurements, which performed by two electromechanics. The measurement system of parameters code ALS was checked in laboratory (Fig. 3).

It is necessary to calibrate the apparatuses of car-laboratory on the base of real track circuit before measurement. It is important that track circuit work in mode of occupying by rolling stock. Thus it checks the conformity of results of measurement, carried out by the developed apparatuses, to data was given directly in the track circuit at the measurement of code current. Next step is the definition of original data of investigated section: or station, the name of railway section, length and type of TC, the sampling frequency settings and the quantization step, which used at the analog-to-digital conversion of the signal. Developed apparatuses was established in car-laboratory (Fig. 4).

As a result, the number of parameters controlled from car-laboratory, equipped with the developed hardware and software apparatuses, expands. The method of measurement parameters track circuits is proposed in [6, 7]. It is based on the comparison a measuring data with the theoretical characteristics, corresponding normalized functioning of TC.

Further actions of operator-electrician are the observations of work of equipment. Reading the data from the inductive coils and checking of parameters of TC and code current is carrying out automatically. At the same time the monitoring of levels and spectral composition of current in rail lines are done to identify their and to remove the reasons of their appearance. According to the results of control of parameters of track circuits is created a database that allows us to automate the process of finding of TC with faults and predict their causes.

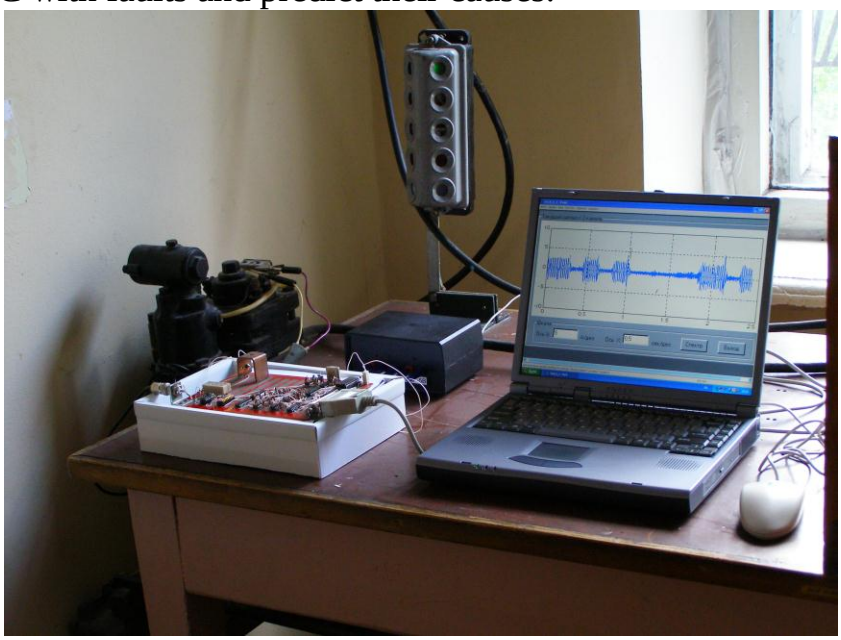


Fig. 3. Test proposed measurement system of parameters code ALS in laboratory



Fig. 4. Work place of electrician of car-laboratory “Automatics, telemechanics and communicaion” and results of measurements of code and return traction currents

As a result, the time spent on the control parameters of TC will be reduced, the working conditions of personnel will be facilitated l and the subjectivity in the measurement will be excluded.

At the determining the types of code signals received from the track circuits, we solve such problems: measurement of the pulse duration and pause with the exception of sags and surges of a signal; selection of the type of code by the pulse duration and pauses; determining the type of the code received from the track circuit and the type of the code track transmitter; definition of amplitude and time parameters of the code signal.

To solve the first problem were taken signatures of pulses and pauses when a signal with an amplitude greater than or equal to $0.6U_{\text{n}}$ for at least 0.2 s is recognized as a useful signal, and the signal with an amplitude of less than or equal to $0.4U_{\text{n}}$ for at least 0.1 s - as the pause. The value $0.6U_{\text{n}}$ is the minimum value that will be recognized as a useful signal when the system is the automatic locomotive signaling. To calculate the duration of pulses and pauses the software timers are used. Algorithm for determining the duration of the pulses and pauses is shown in Fig. 5.

In addition to determining the duration of the pulses and pauses, also their adjustments are made, designed to prevent a momentary signal. For example, if short-term loss of signal during the determination of the pulse duration the pause timer can start. If a signal for 0.1 seconds is not recovered, the pause counting continues, but as the pulse timer has not been disabled, then after stop the pulse timer the pulse correction is carried out

(the subtraction of the pulse duration by 0.1 s). A similar process is organized during the determination of the pause in the event of a pulse.

To solve the second problem and determine the type of message frame and code track transmitter (CTT) all pauses and pulses were divided into certain types (P1 – P7, I1 – I7). The combination impulses and pauses of codes is accorded type of codes: “Red-yellow”, “Yellow”, “Green” for different code track transmitters KPTSH-5 and TPTSH-7.

To solve the third problem, and determine compliance with the requirements of the decrypted code signal amplitude was also been developed appropriate software. Automated measurement hardware and software package calculates the duration of the pulses and pauses in the message frame and therefore can determine what type of code track transmitter is used in this track circuit. It is known that, when a stage is equipped with automatic lock-haul code system, each signaling point is an alternation of code track transmitters, which allows for protection against dangerous failures on short-circuit block joints separating the track circuits. Therefore, it is possible by changing one code track transmitter by another one to determine the location of insulation junction.

For validation of the coordinates of the insulation junction we need to check for compliance with the calculated length $l_{TC_i}$ of the $i$-th track circuit with an error of 3 % to the actual value. Coincidence of the real and the measured length matches the TC working condition of isolating joints, different – is faulty. Data correction means specification of the measured TC length in mind that the type of CTT is determined only after deciphering code of three parcels from one type of CTT. Therefore, the length of the track circuit is subtracted the measured distance traveled by the train during the decoding of the three code packages. Algorithm for computing the length of RC and definition isolating joints fault is shown in Fig. 6.

Algorithm for checking the status of the track circuit involves determining the state of the track circuit and it is carried out on the current curve of the locomotive signaling $I(x)_{\text{meas}}$ depending on the coordinates obtained from the measurements.

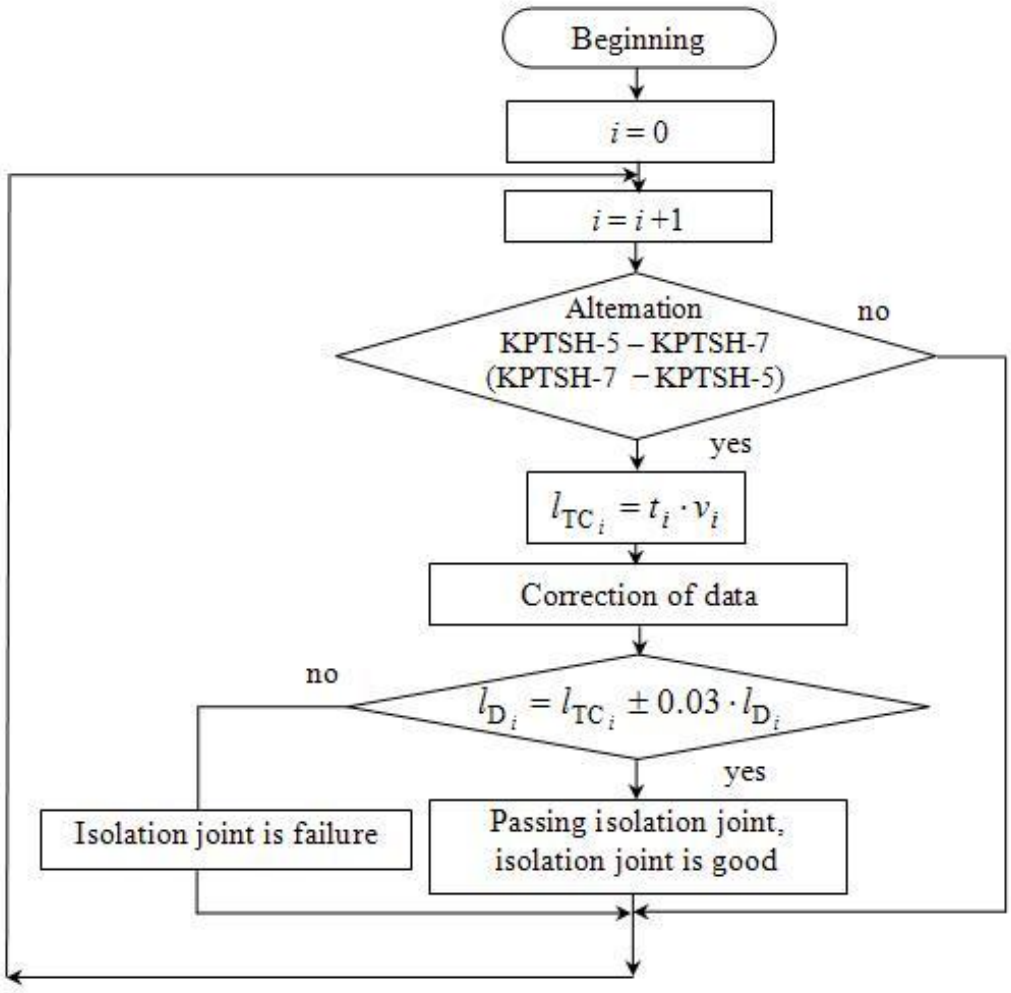



Fig. 5. Algorithm for determining the duration of the pulses and pauses

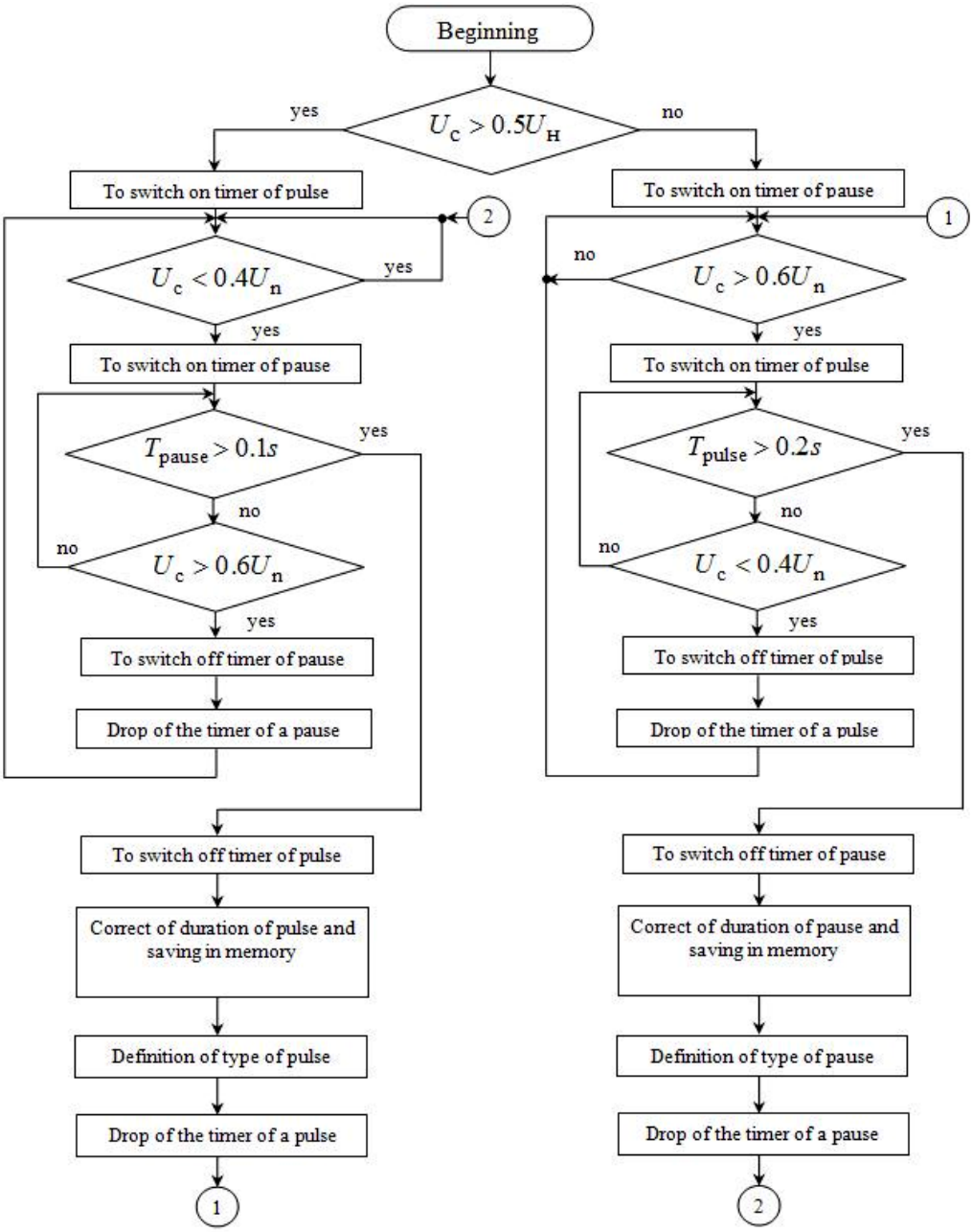



Fig. 6. Algorithm for determining the length of the track circuit and serviceability of block joints

Evaluation is done by comparing the measured code current curve $I(x)_{meas}$ of ALS with calculated $I(x)$ at nominal operating conditions of the track circuit (for example, the impedance of the rails Z1 = Z2 = $0{,}8e^{65j}$ Ohm / km with welded copper connectors, the frequency of the current signal of 50 Hz, the conductivity of insulation Y1 = Y2 = 0 5 S / km) and given its length. Appearance of break points of the first kind in the current curve $I(x)_{meas}$ of locomotive signaling indicates an open rail connectors at

this point. Underestimated the value of ALS current $I(x)_{\text{meas}}$ compared with the calculated value indicates an undervalued ballast impedance.

The ocsillogram and spectrum of “Green” code at the 25 Hz and at the autonomous traction are given in Fig. 7. After measurements all data are processed. There are interferences in the dividing pause of code. The reasons of appearance interferences are power system and current of traction motors.

The resulting databases are created. This allows us to observe the results of measuring the current of locomotive signaling along the length of each track circuit. The shape of the ALS current curve and other parameters determined during the measurement of the trip. It also creates a database, which indicates the number of TC, which revealed the following variations: the amplitude at the beginning of TC, which is below the minimum value; the time parameters of the code, which does not confirm to requirement; the underestimated impedance of ballast; break of electrical connectors.

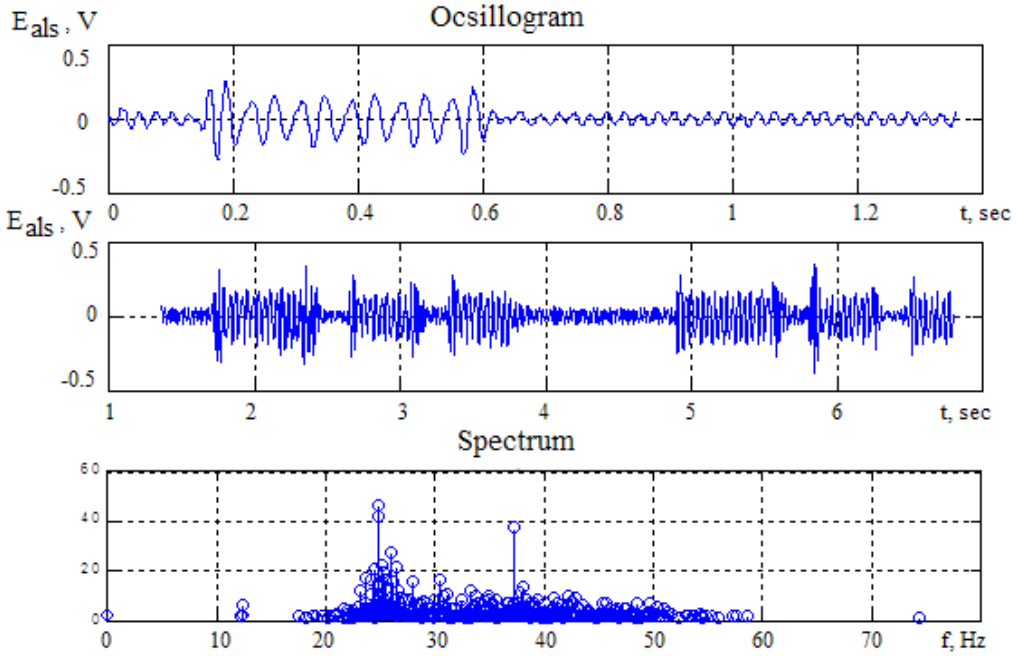



Fig. 7. Ocsillogram and spectrum of code of track circuit at the 25 Hz and at the diesel traction recording from ALS coils at the measuriment trip of car-laboratory

**CONCLUSIONS.**

The method for definition of parameters of TC and harmonics of return traction current was elaborate. This method and hardware-software apparatuses allows you to define by the EMF induced in the one or two receiving coils, which is proportional of current in rails. So, we are determined the following quantities: the magnitude of the code current for the entire length of the track circuit, the duration of the pulses and pauses for all parcels of code, the type of code signal and the type of CTT,

coordinate, the length of the TC, serviceability of insulating junctions and electrical connectors. The results of measurements of EMF induced in each of the receiving coils apart, the spectral composition of the noise occurring in the traction network, and harmonics amplitude and impulse noise, the causes of noise in the rail net can be revealed. The test of given measuring apparatuses was executed on the base of car-laboratory „Automatics, telemechanics and communication" of Pridneprovsky Railway of Ukrzaliznytsia.

The application of proposed method of control parameters of TC from car-laboratory will reduce service time and allowed us to change a type of TC' maintenance to the service as an object in further.

**REFERENCES**

[1] Bryan F. W. Railroad's traffic control systems. ABC'S Railroading. Trains. The magazine of railroading. May 1, 2006. URL: http://trn.trains.com/.

[2] Ishiai M. Train safety control system. Japanese National Railways,Kunitachi, Box.9, Tokyo, Japan, Vol. 1, No. 4, Quart Rpt, Dec. 1960, pp. 40-45.

[3] Francis Raynar Wilson. Railway-Signalling: Automatic; an Introductory Treatment of the Purposes, Equipment, and Methods of Automatic Signalling and Track-circuits for Steam. HardPress, 2012, pp.154.

[4] Путевая блокировка и авторегулировка : учебник / под ред. Н. Ф. Котляренко. Москва: Транспорт, 1983. 408 с.

[5] Аркатов В. С. Железнодорожные пути главной железной дороги: каталог. Москва: Транспорт, 1982.

[6] Serdyuk T., Gavrilyuk V. Research of electromagnetic influence of traction current and its harmonics on the track circuits. *17th Int. Wroclaw Symp and Technical Exhibition on Electromagnetic Compatibility*. P. 260-263.

[7] Serdyuk T. N., Gavrilyuk V. I. Automated system for control of code current parameters in tracks. *Bulletin of Dniepropetrovsk national university of railway transport named akad. V. Lazaryana*. 2004. № 3. P. 15-20.

[8] Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Москва: Высшая школа, 1962. 792 с.

[9] Serdiuk T., Feliziani M., Serdiuk K. About electromagnetic compatibility of track circuits with the traction supply system of railway. *2018 International Symposium on Electromagnetic Compatibility (EMC EUROPE)*. P. 242-247. DOI: 10.1109/EMCEurope.2018.8485034.

[10] Serdiuk T. M. Modeling of influence of traction power supply system on railway automatics devices. *2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility* (EMC EUROPE 2017). DOI: 10.1109/EMCEurope.2017.8094637.

[11] Serdiuk T., Kuznetsov V., Kuznetsova Ye. About electromagnetic compatibility of rail circuits with the traction supply system of railway. *2018 IEEE 3rd International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS).* P. 59-63.

## АВТОМАТИЗОВАНИЙ МЕТОД ПЕРЕВІРКИ ПАРАМЕТРІВ РЕЙКОВИХ КІЛ

**Сердюк Т., Кузнецов В., Сердюк К., Ніколенко А.**

***Анотація*** - розроблено метод визначення параметрів кодового струму і гармонік зворотного тягового струму, а також первинних і вторинних параметрів рейкових кіл. В статті представлено удосконалену математичну модель каналу системи автоматичної локомотивної сигналізації, яка стала науковим обґрунтуванням для розробки автоматизованого методу перевірки параметрів рейкових кіл. Розроблені алгоритми визначення параметрів рейкових кіл.

Запропонований метод обслуговування рейкових кіл полягає у записі і подальшому аналізі сигналу, отриманого з приймальних котушок вагону-лабораторії (або індуктивних котушок автоматичної локомотивної сигналізації). Сигнал є пропорційним електрорушійній силі (ЕРС), яка індукується в приймальних котушках і пропорційна струму в рейках (кодовому і зворотному тяговому). Розроблено апаратно-програмний комплекс, який дозволяє визначити такі величини: величина струму коду по всій довжині рейкового кола, тривалість імпульсів і пауз для всіх посилок коду, тип кодового сигналу і тип кодового колійного трансмітеру (КПТШ), координату, довжину рейкового кола, справність ізостиків і електричних з'єднувачів, первинні та вторинні параметри рейкових кіл. Апаратно-програмний комплекс дозволяє виміряти ЕРС, індуковану в кожній з приймальних котушок, визначити спектральний складу завад у зворотному тяговому струмі, імпульсні завади, а також проаналізувати причини їх виникнення. Апробацію запропонованої методики і апаратно-програмного комплексу було здійснено на базі вагону-лабораторії «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» Придніпровської залізниці Укрзалізниці.

Застосування запропонованого методу контролю параметрів рейкових кіл з вагону-лабораторії «Автоматика, телемеханіка та зв'язок» дозволить скоротити час, який витрачається на обслуговування рейкових кіл і у подальшому змінити вид обслуговування рейкових кіл з планово-попереджувального на обслуговування «за станом об'єкта».

***Ключові слова*** – рейкове коло, вимірювання, кодовий струм, параметри рейкових кіл, амплітуда, часові параметри кодів, тяговий струм гармоніки.

# АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ МЕТОД ПРОВЕРКИ ПАРАМЕТРОВ РЕЛЬСОВЫХ ЦЕПЕЙ

**Сердюк Т., Кузнецов В., Сердюк К., Николенко А.**

***Аннотация*** - разработан метод определения параметров кодового тока и гармоник обратного тягового тока, а также первичных и вторичных параметров рельсовых цепей. В статье представлены усовершенствованную математическую модель канала системы автоматической локомотивной сигнализации, которая стала научным обоснованием для разработки автоматизированного метода проверки параметров рельсовых цепей. Разработанные алгоритмы определения параметров рельсовых цепей.

Предложенный метод обслуживания рельсовых цепей заключается в записи и последующем анализе сигнала, полученного с приемных катушек вагона-лаборатории (или индуктивных катушек автоматической локомотивной сигнализации). Сигнал пропорционален электродвижущей силе (ЭДС), которая индуцируется в приемных катушках и пропорциональна току в рельсах (кодовому и обратному тяговому). Разработан аппаратно-программный комплекс, который позволяет определить следующие величины: амплитуда кодового тока по всей длине рельсовой цепи, длительность импульсов и пауз для всех кодовых посылок, тип кода и тип кодового путевого трансмиттера (КПТШ), координату, длину рельсовой цепи, исправность из-за стыков и электрических соединителей, первичные и вторичные параметры рельсовых цепей. Аппаратно-программный комплекс позволяет измерить ЭДС, индуцированную в каждой из приемных катушек, определить спектральный состав помех в обратном тяговом токе, импульсные помехи, а также проанализировать причины их возникновения. Апробацию предложенной методики и аппаратно-программного комплекса было осуществлено на базе вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь» Приднепровской железной дороги Укрзализныци.

Применение предложенного метода контроля параметров рельсовых цепей с вагона-лаборатории «Автоматика, телемеханика и связь» позволит сократить время, затрачиваемое на обслуживание рельсовых цепей и в дальнейшем изменить вид обслуживания рельсовых цепей с планово-предупредительного на обслуживание «по состоянию объекта».

***Ключевые слова*** - рельсовая цепь, измерения, кодовый ток, параметры рельсовых цепей, амплитуда, временные параметры кодов, тяговый ток гармоники.

**UDC 631** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-7**

# PARAMETERS OF ELECTROMAGNETIC RADIATION FOR REGENERATION OF ANIMAL INJURED BONE TISSUE

**Orel O., PhD** **https://orcid.org/0000-0002-6436-2305**
**Orel M.,** engineer
*Tavria State Agrotechnological University*
E-mail: orelan2006@ukr.net

***Summary*** – the development of effective medication-free treatment and means of animal injuries treatment is urgent task. The optimal parameters of electromagnetic field of ultra-high frequency range interacting with the bone tissues of animals have been determined. The aim of the work is to identify the high-frequency range of the electromagnetic field parameters in interaction with animal tissues using the developed mathematical model. The dependence of electric component amplitude of magnetic frequency field was investigated. It has been proved that the dimensions of the limbs and internal tissues significantly affect the internal distribution of the electromagnetic fields. The results of experimental studies have made it possible to determine the optimal frequency, power and radiation source arrangement for the injury treatment of different animal species. The application of electromagnetic radiation with optimal parameters intensifies metabolism on the diseased cells membrane level and assists more rapid recovery of the injured bone tissue.

***Keywords:*** injuries, ultra-high frequency, parameters, mathematical model, metabolism, cells membrane.

Nowadays, one of the important tasks facing Ukraine's agrarian complex is increase of livestock farming productivity while keeping heard expansion of domestic animals, which depends on efficient animal disease treatment, in particular traumatism.

Animal traumatism is the common group of diseases among all non-contagious diseases amounting to 50% of total disease rate [1].

Now medicaments are mainly used for treatment of animal injuries. In most cases application of antibiotics and other medicated things is not efficient enough and unsafe, it blocks the disease symptoms. Getting into the human organism via livestock products, antibiotics have negative influence on it, suppress the immunity, contribute to mutated virus replication causing various diseases [1, 2].

Therefore, the development of efficient medicament-free treatment and development of technical means for animal injury treatment is actual one.

The data analysis of numerous researches and publications [2] has allowed to state that one of the prospective ways of medicament-free

© Orel O., Orel M.

treatment of animal injury is the impact of electromagnetic field (EMF) of LHF-range.

The research aim was on the basis of the developed mathematical model [3, 4] to define the biotropic parameters of electromagnetic field of LHF-range during its interaction with animal tissues.

Applying the obtained [3, 4] mathematical expressions, the numeric computations of the biotropic parameter values of the electromagnetic field in animal limbs of different geometric dimensions have been made; the optimal frequency of impact which allows to give the appropriate recommendations on technical features of the developed therapeutic apparatus has been defined.

The fundamentals of the computations were the mathematical values [3, 4], which describe the distribution of electromagnetic wave of LHF-range on a biological object of cylindrical shape with layered structure by radius

$$\dot{E}^i_{z\,\text{пад}} + \dot{E}^i_{z\,\text{отр}} = \sum_{m=0}^{\infty}\left[\dot{B}^i_m J_m\left(k_i r\right) + \dot{C}^i_m H^{(2)}_m\left(k_i r\right)\right]\cos\left(m\varphi\right)$$

According to the obtained expressions the amplitudes of inner fields are complex values which change their phasing depending on animal limb dimensions, incident frequency, electro-physical characteristics of biological tissues and their location inside a limb.

The zeroth harmonic of incident electromagnetic field (the amplitude of harmonics with numbers $m$ >1 is significantly lower than the zeroth one) makes the major influence on an animal limb, which is connected with low resonance characteristics of biological objects being exposed to radiation.

Electromagnetic characteristics of all five layers taken into account [4] were chosen according to reference data. The intensity of the incident field electrical component equals one, which allows going to any concrete value Eo in calculations, at the same time the case of E-polarization is considered.

The mentioned review of literature data [2] indicates that the main curative effect of electromagnetic radiations in case of bony pathologies is connected with their effect on cell membranes and the activization of ion movement of different microelements through them. At the same time characteristic resonance frequencies of these processes are within the range of $10^9$-$10^{11}$Hertz.

Taking into account that during passing of electromagnetic radiations of decameter and centimeter range through an animal limb, on the one hand, there is the radiation absorption, on the other hand, there is their resonance re-scattering on different biological inhomogeneity; first of all, it

is necessary to determine at what frequencies the electromagnetic field component strength will be maximum in bone marrow of bony tissue.

According to the aim we have studied the dependence of EMF electric component amplitude on frequency in the area of bone marrow and bony tissue of a limb. To obtain the more universal animal treatment methods the limbs of large animals (a horse, a cow) as well as small ones (a pig, a sheep) were examined. It was done due to the fact that both cross-sectional geometric shapes of limbs and sizes of their internal tissues differ significantly, so this could affect the distribution of inside electromagnetic fields in them.

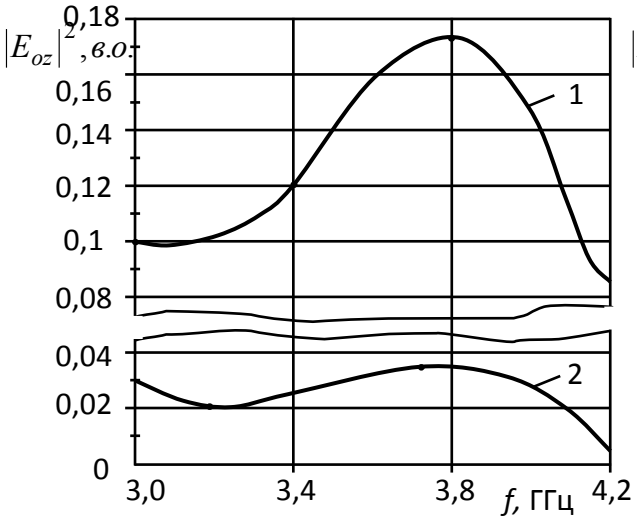



Fig. 1. The square of amplitude of EMF electric component $|E_{0z}|^2$ versus frequency response $f$ for a pig leg:
1 – in bone marrow area;
2 – in bone tissue area

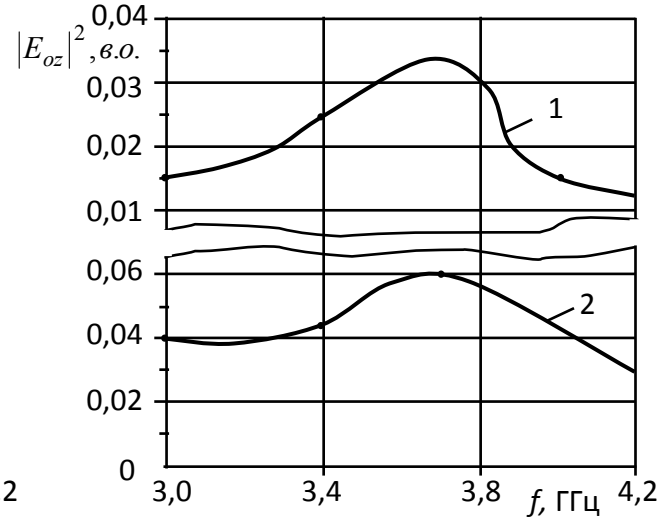



Fig. 2. The square of amplitude of EMF electric component $|E_{0z}|^2$ versus frequency response $f$ for a cow leg:
1 – in bone marrow area;
2 – in bone tissue area

In fig. 1 there are the results of calculations performed within the range of 3.0-4.2 GHz for a pig leg. Picture 1 (curve 1) shows that in the area of bone marrow the maximum value of the electric component is at a frequency of 3.8 GHz. At frequency shift to the left and right from the identified frequency there is the amplitude loss. The same has to be said about the curve 2, where the same response is presented but for the area of bony tissue. In this case the maximum amplitude is at a frequency of 3.7 GHz. However, the shift into more longwave range affects the field value less than the shift into more shortwave range.

In fig. 2 there are curves corresponding to frequency dependence of square for inside field electric component amplitude for a cow leg. It should be mentioned that in this case in the area of bone marrow as well as

in the area of bone tissue of a leg the maximum is weaker than for a pig. This is explained by large sizes of a leg and correspondingly the length of incident electromagnetic wave. Therefore, resonance phenomena are weaker. However, in this case the electric component reaches its maximum at the range of frequencies of 3.6 – 3.7. GHz.

According to the obtained results we can conclude that the most acceptable value for radiation of injured legs of farm animals is the frequency within 3.7 GHz from the view of electrodynamics. In addition, the proper location of maximum of effecting field allows to choose the radiation sources with less power flows that is very important for treatment.

It should be emphasized that in the present graphs along the axis of ordinates there is a dimensionless value indicating which part of incident electromagnetic radiation strength reaches the particular area of an injured leg.

Having identified the most acceptable radiation frequency of electromagnetic field, the examination of its distribution in cross-section cut of an injured limb was carried out; it was necessary to determine how efficient was the field affecting the proper injured areas of legs.

In order to get the result, the radius of cross-section cut of leg versus $E_{0z}$ was examined on the basis of its anatomic organization.

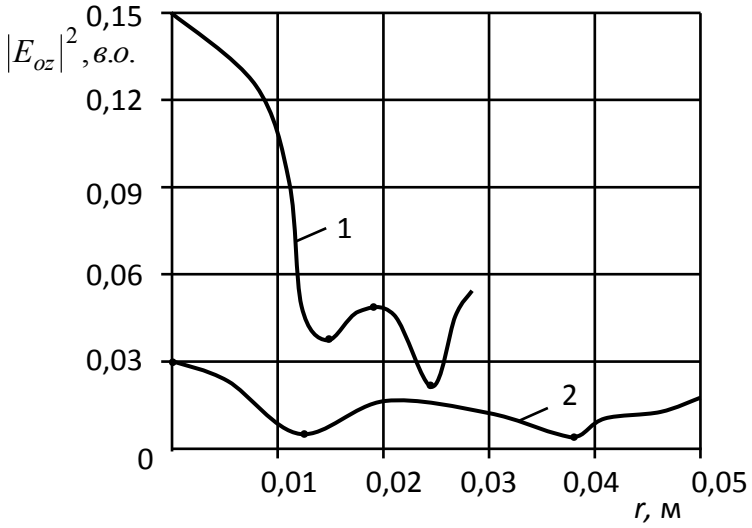



Fig. 3. Distribution of amplitude square of electric component of electromagnetic radiation inside animal limbs at a frequency of 3.7 GHz: 1– for a pig; 2– for a cow

In fig. 3 (curve 1) there is the dependence of amplitude square of longitudinal component of electric field on a leg cross-section cut radius inside a pig limb. The chosen radiation frequency was equal to 3.7 GHz. According to the picture in the both areas of bone marrow and bony tissue the electric field is more powerful than in other areas. Thus, we have to

conclude that radiation at this frequency will have maximum effect on the injured bony tissue and assist its fast recovery.

According to fig. 3 (curve 2) illustrating the distribution of electric component $|E_{0z}|^2$ in cross-section cut of a cow leg at a frequency of 3.7 GHz there is the similar result. In this case density of the field is located in the areas of bone marrow and the injured bony tissue.

Thus, despite an animal size (a pig, a cow) the radiation at identified frequency in particular has the maximum stimulating effect on cambiogenetic hardness, cortical layer of bone and soft tissues around the fracture.

The similar results obtained after calculations for limbs of other farming animals (a horse, a sheep) indicate that the most acceptable value of electromagnetic field applied for therapeutic reason during the treatment of limb injuries of different animals is the range from 3.7 to 3.8 GHz. This range is acceptable from the view of obtaining the optimal amplitudes of EMF inside the objects exposed to radiation as well as from the view of optimal distribution of inner field.

Taking into account the above calculations it may be concluded concerning the flow density strength of radiation for an injured limb. According to literature sources, radiation strength at 0.1 mW/cm$^2$ causes the appearance of membrane cells of the identified potentials, which has positive influence on the transmembrane ion movement. In other words, there is an intensive recovery process for diseased and injured cells. Thus, the radiation source has to create the exact flow density strength in the places of injury.

Taking into account the results (see fig. 1-3) demonstrating which part of radiation strength reaches the injured area (0.005-0.01) and the identified above the necessary strength level for curing effect, it may be defined that the radiation source has to radiate approximately at 100 W/m$^2$.

**Conclusions**

- On the basis of proposed theoretical model, the performed computations have indicated that the most acceptable frequency of electromagnetic radiation for limbs of different farming animals is 3.7-3.8. GHz. In this case the field distribution by limb cross-section cut and its amplitude are the most optimal ones.
- According to the results the radiation has to be of 100 W/m$^2$. This intensifies the metabolism in membranes of sick cells and encourages the fastest recovery of injured bony tissue.

**References**

1. Zagalna veterynarna khirurgia / A. V. Lebediev, V. A. Lukyanovskyi, B.S. Semenov. M.: Kolos, 2000. 488p.

2. Orel O. M. Analis metodiv s elektrofizichnykh prystroyiv dlya likuvannia kistkovykh khvorob tvaryn // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnychnoi Akademiiy. Melitopol: TDATA, 2003. 190p.
3. Yakovliev V.F., Orel O.M. Model travmovanoiy kistkovoi tkanyny tvaryn , scho znakhodyatsya pid diieiu NCHV oprominiuvannia // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnychnoi Akademiiy. Melitopol: TDATA, 2003. Vyp. 12 – 68-73p.
4. Yakovliev V. F., Orel O. M. Do pytaniia pro model travmovanoiy kistkovoi tkanyny tvaryn , scho znakhodyatsya pid diieiu NCHV oprominiuvannia // Pratsi Tavriyskoi derzhvnoi agrotekhnychnoi Akademiiy. Melitopol: TDATA, 2003. Vyp. 12. p. 60-67.

## ПАРАМЕТРЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОГО ТРАВМАТИЗМА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

Орел А. Н., Орел Н. А.

***Аннотация*** - в настоящее время одной из важных задач, стоящих перед аграрным комплексом Украины, является повышение продуктивности животноводства при сохранении заметного роста числа домашних животных, что зависит от эффективного лечения болезней животных, в частности травматизма. Разработка эффективного медикаментозного лечения и средств лечения травм животных является актуальной задачей. В статье определены оптимальные параметры электромагнитного поля сверхвысокочастотного диапазона, взаимодействующего с костной тканью животных. Целью работы является выявление высокочастотного диапазона параметров электромагнитного поля при взаимодействии с тканями животных с использованием разработанной математической модели. На основе предложенной теоретической модели проведенные расчеты показали, что наиболее приемлемая частота электромагнитного излучения для конечностей различных сельскохозяйственных животных составляет 3,7-3,8. ГГц. В этом случае распределение поля по сечению лимба и его амплитуде являются наиболее оптимальными. Принимая во внимание результаты, демонстрирующие, какая часть радиационной силы достигает поврежденного участка (0,005-0,01) и выявленный выше необходимый уровень прочности для эффекта отверждения. Согласно результатам, излучение должно быть мощностью 100 Вт/м$^2$. Это усиливает обмен веществ в мембранах больных клеток и способствует скорейшему восстановлению поврежденной костной ткани.

**Ключевые слова:** травмы, сверхвысокая частота, параметры, математическая модель, метаболизм, клеточная мембрана

# ПАРАМЕТРИ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ РЕГЕНЕРАЦІЇ КІСТКОВОГО ТРАВМАТИЗМУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТВАРИН

Орел О. М., Орел М. О.

**Анотація** – одне з важливих завдань, що стоїть перед аграрним комплексом України, це підвищення продуктивності тваринництва при збереженні помітного зростання числа домашніх тварин, що залежить від ефективного лікування хвороб тварин, зокрема травматизму. Розробка ефективного медикаментозного лікування і засобів лікування травм тварин є актуальним завданням. У статті визначено оптимальні параметри електромагнітного поля надвисокої частоти, що взаємодіє з кістковою тканиною тварин. Метою роботи є виявлення високочастотного діапазону параметрів електромагнітного поля при взаємодії з тканинами тварин з використанням розробленої математичної моделі. Досліджено залежність амплітуди електричної складової магнітного поля. Доведено, що розміри кінцівок і внутрішніх тканин істотно впливають на внутрішній розподіл електромагнітних полів. Таким чином, незважаючи на розмір тварини, випромінювання з певною частотою, зокрема, чинить максимальний стимулюючий вплив на камбіогенетіческую твердість, кортикальний шар кістки і м'які тканини навколо перелому.

На основі запропонованої теоретичної моделі проведені розрахунки показали, що найбільш прийнятна частота електромагнітного випромінювання для кінцівок різних сільськогосподарських тварин становить 3,7-3,8 ГГц. У цьому випадку розподіл поля по перерізу лімба і його амплітуді є найбільш оптимальними. Беручи до уваги результати, які демонструють, яка частина радіаційної сили досягає пошкодженої ділянки (0,005-0,01) і виявлений вище необхідний рівень міцності для ефекту затвердіння. Згідно з результатами, випромінювання має бути потужністю 100 Вт/м$^2$. Це підсилює обмін речовин в мембранах хворих клітин і сприяє швидкому відновленню пошкодженої кісткової тканини.

**Ключові слова**: травми, надвисока частота, параметри, математична модель, метаболізм, клітинна мембрана

**УДК 620.93** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-8**

# PNEUMATIC ENERGY BATTERY FOR PRIVATE SOLAR POWER

**Kashkarov A., PhD,** **https://orcid.org/0000-0002-6212-2615**
**Sabo A., PhD,** **https://orcid.org/0000-0002-7948-6933**
**Koval S.**
Tavria State Agrotechnological University
e-mail: anton.kashkarov@tsatu.edu.ua, andriy.sabo@gmail.com

***Summary*** **-** the article deals with the accumulation of energy for the conditions of a farming business like greenhouse, etc.. For the very beginning, the main applicable methods of energy storage are considered and mutually compared. The main attention is given to gravity and mechanical storage ways. The basic principles of energy accumulation and storage for these forms of energy and the back conversion into electrical energy are indicated for the conditions of farms. Theoretical regularities of the air pressure stabilization time in the receiver under the constant supply are obtained for different environmental parameters and the receiver operating conditions. The obtained patterns make it possible to justify the operation mode of the gas storage device, its design parameters and give the preconditions for the selection of pneumatic shut-off and control valves, as well as electric generators.

The tasks are set for the technical implementation of the energy complex. As the further work basis the authors see the expanding of the parameter list for the regularity for the pressure stabilization time determination taking into account temperature fluctuations during charging and discharging of a gas storage device and the influence of air parameters on the performance efficiency.

**Keywords**: renewable energy, energy storage, energy storage gas.

**Introduction.** One of the main problems of alternative energy is the unevenness of its receipt from renewable sources [8]. The sun shines only during the day and in cloudless weather. Wind speed is also unstable. Additionally the demand for electricity is not constant, and depends on a large number of unpredictable factors and some others scarcely predictable for a long period [6, 7]. Taking into account that electric energy has such a feature, that the generated amount of the energy must be consumed and the difficulties with the accumulation of the large volumes of electric energy, the problem arises how to match the electric power generation and consumption. This task is realized in practice with the different ways of the energy accumulation implementation and to solve many technical problems for it is actual for the great variety of the energy power generators and different power consumers [3, 8, 10].

© Kashkarov A., Sabo A., Koval S.

The article will discuss the energy accumulation for conditions of the farm private business with crop production like greenhouses with a need to ensure reliable energy supply for the technological process. The solving of the task is complicated by the fact that the electrochemical storage usage is impossible due to the temperature fluctuations and the complexity of the storage location features [3, 8]. Additionally, the installation gasoline and diesel generators accompanied by products of combustion emissions, noise and the complexity of the operation.

**Analysis of recent research.** There are 6 main forms of energy: gravitational, mechanical, thermal, chemical, electromagnetic and nuclear. Now there are artificial batteries for the energy of the first five forms [3, 7, 9]. Let us consider how these forms of energy could be accumulated, stored and converted into electricity in the conditions of the farms.

In the gravitational energy accumulators at the stage of energy storage the load rises up accumulating potential energy and at the right time it falls down, returning this energy for possible usage. The use of solids or liquids as a load contributes to the very specific type of design [9]. An intermediate position among the mentioned types is occupied be the usage of bulk solids (sand, lead shot, small steel balls, etc.) as energy accumulating body.

The mechanical energy storage devises are characterized by the movement of individual bodies or their particles. These include the kinetic energy of the linear or rotational motion of the body, the energy of deformation during bending, tension, twisting, compression of elastic bodies (like springs, etc.) [3]. There are such types of mechanical drives: gyroscopic (energy is stored in the form of kinetic energy of a rapidly rotating flywheel); gyroresonance (represent the same flywheel, but made of elastic material), etc. [9].

Among mechanical drives with usage of elastic forces it is necessary to consider a bit more attentively the ones with usage of the spring [9] and gas as accumulating media [2, 5, 9]. The spring-based mechanical drives (ones that use the compression and straightening of the spring, providing a large flow rate and energy input per time unit) require a complex and material-intensive mechanism for fixing the spring. On the contrary, the gas-based mechanical drives (the compressed gas is fed into a turbine that directly performs the necessary mechanical work) are simpler for the technical implementation and operation.

Based on the literature analysis, communication with scientific and practical experts, it was decided to focus on the gas mechanical storage devices [4, 5]. This approach allows us to get a double product: electrical energy and water (as it condenses in the tank, because the moist air is

compressed from the greenhouse and cooled during the night) besides with the possibility of the direct consumption of the compressed gas for possible technological implementations.

A promising technology for creating energy reserves is air compression due to available energy at a time when there is no immediate need for it. Compressed air is cooled and stored under the pressure 60-70 atmospheres [2]. If it is necessary to consume the stored energy, the air is extracted from the storage ring, heated, and then supplied to a special gas turbine, where the energy of compressed and heated air rotates the turbine, turning the shaft connected to an electric generator delivering the electricity to the power system [2, 4].

It is not new way to solve the energy production-consumption problem. Gas storage devices are used in transport [10], robotics [1] and industrial energy sectors [2, 3, 6]. Various algorithms have been developed for the technical and economic justification of the design and operation modes of such energy-storage plants. There are developed standard modules, like ones of the Matlab library with the Simulink environment [4, 5, 7]. For the business connected with the cultivation of closed soil there are many natural (air composition, external influences) and anthropogenic (technological equipment, asocial behavior of workers, vandalism, low work culture, etc.) factors that require a detailed review of the design choice and economic substantiation of the effectiveness of the use of gas energy storage.

**Purpose of the article.** To get a mathematical model allowing to determine the time of pressure stabilization of the receiver with the atmospheric pressure in, dependence of the environmental parameters.

**Research materials.** It is necessary to consider the physics of the processes that occur in gas storage devices to achieve the goal of the article. This is complex and multi-parametric task. For the very beginning, let’s determine the time for stabilization of the air pressure in the receiver with a constant supply of external air

$$t = \frac{|\Delta m|}{\vartheta} \qquad (1)$$

where |Δm| – the mass difference for the air in the tank under atmospheric pressure and actual pressure in the tank, kg;

υ - air supply rate to the container, kg / s;

With use of the reference data for the air physical properties at certain values under the pressure P (Pa) and temperature T (K) using the Mendeleev-Clapeyron equation, it’s possible to determine the weight of air in the tank of the volume V ($m^3$) according to the given parameters:

$$m = \frac{V\mu}{R}\left(\frac{P}{T}\right) \quad (2)$$

where R – universal gas constant, R=8,31 J/(mol·K);

μ - molar mass of air, accept the molar mass of dry air μ=28,96 g/mol.

Therefore, as follows from expression 2, the weight of air in a closed volume under altered ($m_2$) and atmospheric ($m_1$) pressure should be be calculated as:

$$m_2 = \frac{V\mu}{R}\left(\frac{P_2}{T_2}\right) \quad (3)$$

$$m_1 = \frac{V\mu}{R}\left(\frac{P_1}{T_1}\right) \quad (4)$$

Introducing the constant:

$$D = \frac{\mu}{R} = \frac{29\cdot10^{-3}}{8{,}31} = 3{,}5\cdot10^{-3}\ \left[\frac{kg\cdot mol\cdot К}{mol\cdot J} = \frac{kg\cdot К}{J}\right], \quad (5)$$

$$t = \frac{D\cdot V}{\vartheta}\left|\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right| = 3{,}5\cdot10^{-3}\cdot\frac{V}{\vartheta}\left|\frac{P_1}{T_1} - \frac{P_2}{T_2}\right|, \quad (6)$$

In the particular case, pressure equalization will be carried out if the atmospheric temperature and the temperature inside the vessel are equal, i.e. $T_1 = T_2$, and the expression 6 takes the form

$$t = 3{,}5\cdot10^{-3}\cdot\frac{V}{\vartheta}\frac{|P_1 - P_2|}{T}, \quad (6)$$

For an example and the simplification of further calculations let's accept: receiver volume V = 1 $m^3$, atmospheric pressure $P_2$ = 100 kPa. Under the precondition that the air in the greenhouse is dry the receiver will charge and discharge at the same temperature. Accepted assumptions could be easily implemented for the laboratory conditions. In such a way, theoretical data are obtained for the stabilization time under constant atmospheric pressure (fig. 1) and under the constant ambient temperature (fig. 2).

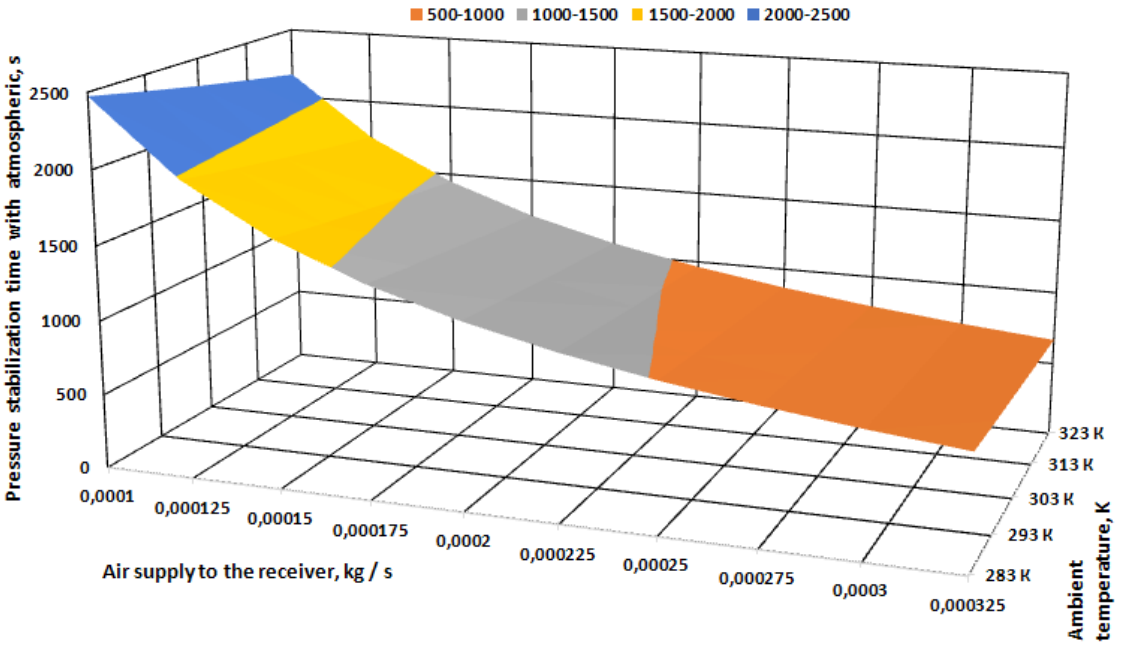



Fig. 1. Receiver pressure stabilization time under atmospheric pressure at various ambient temperatures ($P_2$ = 120kPa)

The accepted conditions hardly could be fulfilled for the real plant in operation as it is obvious that the temperature of the receiver will change as well as the humidity of the air in greenhouse and both the factors should not be neglected. Under the usage of the stored energy in the receiver under the calm weather (if one's plant is equipped with wind generators) or in the dark (for plant with solar energy generation), the temperature factor will contribute to the receiver pressure change up to the end of the filling time. Humidity would contribute to the condensation of moisture at the bottom of the receiver and it means technical complication for the flow of air to the turbine.

Analysis of the graphs shows that it is better to store energy in a gas storage device under low temperatures, taking into account the temperature fluctuations during the discharge of the storage device. Ambient temperature significantly affects the time of the receiver pressure stabilization (Fig. 1), which contributes to a qualitative analysis of the operating modes of the converter of the gas kinetic energy into the another type of energy. The influence of the receiver pressure on the equalization time with atmospheric pressure (Fig. 2) has more linear character and it's good for the future usage to justify the design and the calculation of the receiver mechanical characteristics.

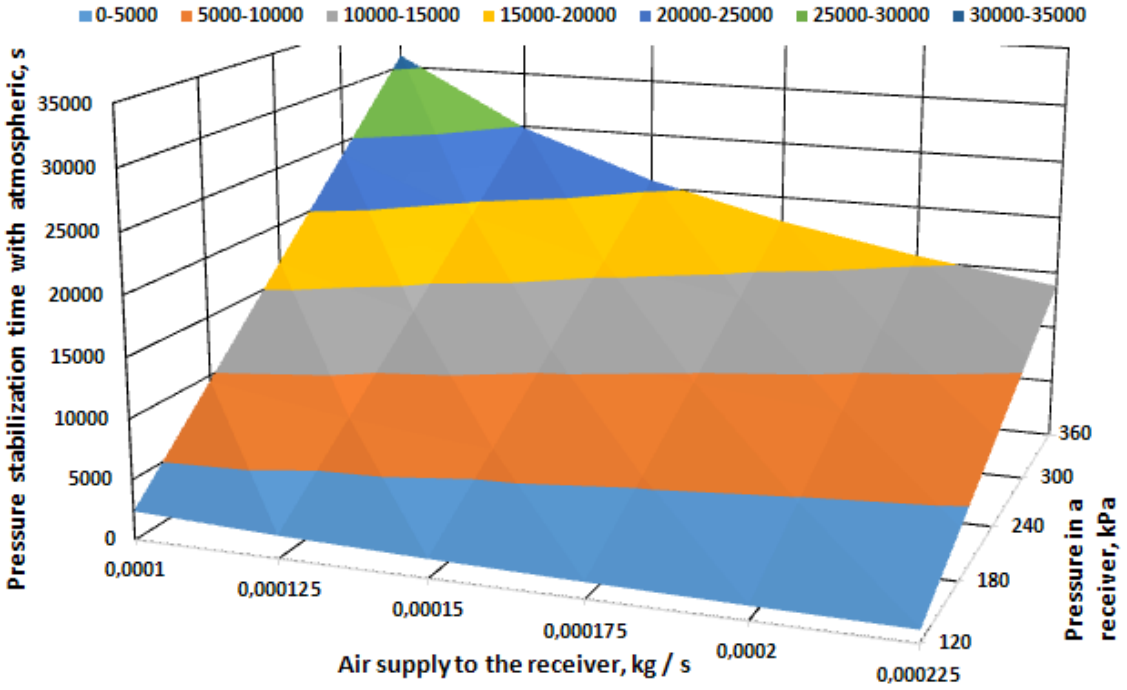



Fig. 2. Receiver pressure stabilization time under the different atmospheric pressures and different ambient temperature T = 293K.

**Discussion**

Theoretical regularities are obtained for the receiver air pressure stabilization time under the constant supply from the environmental parameters and under given receiver operating conditions. The indicated regularities make it possible to justify the operation mode of the gas storage device, its design parameters and lay the foundation for the selection of pneumatic shut-off and control valves.

For the technical implementation of this approach, it is necessary to solve the following tasks:

- expand the list of parameters for the determining of the pressure stabilization time taking into account temperature fluctuations during the charge and discharge of a gas storage device, the influence of air parameters on work efficiency;

- study the technical and technological possibilities of the accumulator efficiency increasing (under possible heating and cooling of the receiver);

- study the quantitative and qualitative indicators of the process of moisture condensation during the gas storage operation under the conditions of closed ground structures.

It could be seen as the proposed methodology is something like a “step backward” in the scientific approach to solving the tasks, but this is necessary measure that was determined by the multifactor nature and multi-

parametrical features of the introducing renewable energy sources into the technological processes of private greenhouse facilities as autonomous energy systems.

**References**

1. *Ahmad Sharbafi, M.; Shin, H.; Zhao, G.; Hosoda, K.; Seyfarth, A.* Electric-Pneumatic Actuator: A New Muscle for Locomotion. *Actuators* 2017, 6, 30. doi: 10.3390/act6040030

2. Compressed Air Energy Storage (CAES) – Пневматический аккумулятор. 23 июня 2015. URL: https://habr.com/ru/post/378659/

3. Haisheng Chen, Thang Ngoc Cong, Wei Yang, Chunqing Tan, Yongliang Li, Yulong Ding. Progress in electrical energy storage system: A critical review. Progress in Natural Science 19 (2009) 291–312. doi:10.1016/j.pnsc.2008.07.014

4. Thomas Guewouo, Lingai Luo, Dominique Tarlet, Mohand Tazerout. Identification of Optimal Parameters for a Small-Scale Compressed-Air Energy Storage System Using Real Coded Genetic Algorithm. Energies 2019, 12, 377; doi:10.3390/en12030377

5. Xing Luo, Mark Dooner, Wei He, Jihong Wang, Yaowang Li, Decai Li, Oleh Kiselychnyk. Feasibility study of a simulation software tool development for dynamic modelling and transient control of adiabatic compressed air energy storage with its electrical power system applications. Applied Energy 228 (2018) 1198–1219. Doi: 10.1016/j.apenergy.2018.06.068

6. В ожидании "большого взрыва": как украинцы создали лучшие накопители энергии в мире . Всеволод Некрасов. Экономическая правда. 23 апреля 2018 года. URL: https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2018/04/23/636238/

7. *Івахнов А. В., Лазуренко О. П., Федорчук С. О.* Моделювання системи накопичення електроенергії як високоманевреної потужності з застосуванням в різних вузлах енергосистеми. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. №195. С. 40-43.

8. Как накопить и сохранить энергию из возобновляемых источников. Дата публикации: 5 января 2016. URL: https://altenergiya.ru/accumulator/kak-nakopit-i-soxranit-energiyu.html

9. Кинетические накопители энергии для электроэнергетики. 2019. URL: http://electricalschool.info/spravochnik/eltehustr/1887-kineticheskie-nakopiteli-jenergii-dlja.html

10. *Любарский Б.Г., Шайда В.П., Буряковский С.Г.* Сравнительный анализ накопителей энергии для транспортных средств. *Залізничний транспорт України*. 2015. №6. С 13-21

## ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ БАТАРЕЯ ДЛЯ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В УСЛОВИЯХ ЧАСТНОГО БИЗНЕСА

**Кашкарёв А.А., Сабо А.Г., Коваль С.Д.**

**Аннотация –** в статье идет речь о накоплении энергии в условиях частного бизнеса – растениеводства закрытого грунта. Рассмотрены основные методы накопления энергии. Самое большое внимание уделено гравитационным и механическим накопителям. Указаны основные принципы накопления и хранения в этих формах энергии и дальнейшее преобразование в электрическую в условиях фермерских хозяйств. Получены теоретические закономерности времени стабилизации давления воздуха в ресивере при его постоянной подаче от параметров окружающей среды и заданных условиях работы ресивера. Полученные закономерности позволяют обосновать режим работы газового накопителя, его конструктивные параметры и закладывают основы выбора пневматической запорно-регулирующей арматуры, а также электрогенераторов.

Поставлены задачи для технической реализации энергетического комплекса. В основе дальнейшей работы находится задача расширения перечня параметров в закономерности определения времени стабилизации давления (учесть колебания температур при заряде и разряде газового накопителя, влияние параметров воздуха на эффективность работы).

**Ключевые слова:** возобновляемая энергетика, накопитель энергии, газовый накопитель энергии

## ПНЕВМАТИЧНА БАТАРЕЯ ДЛЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ ПРИВАТНОГО БІЗНЕСУ

**Кашкарьов А.О., Сабо А.Г., Коваль С.Д.**

**Анотація –** в статті йдеться мова про накопичення енергії в умовах приватного бізнесу - рослинництва закритого ґрунту. Розглянуто основні методи накопичення енергії. Найбільшу увагу приділено гравітаційним і механічним накопичувачам. Вказані основні принципи накопичення і зберігання в цих формах енергії та подальше перетворення в електричну в умовах фермерських господарств. Відзначено, що роботи по даному напрямку вирішують досить широке коло завдань, але в рослинництві закритого ґрунту в умовах приватних господарств є безліч природних (склад повітря, зовнішні впливи) та антропогенних (технологічне обладнання, асоціальна поведінки працівників, вандалізм, низька культура праці) чинників, які вимагають детального перегляду методик вибору конструкції і економічного обґрунтування ефективності застосування газових накопичувачів енергії.

Метою роботи є отримання математичної моделі, яка дозволить визначити час стабілізації тиску ресивера з атмосферним залежно від параметрів навколишнього середовища.

Для того, щоб досягти мети статті необхідно розглянути фізику процесів. Для визначення часу стабілізації тиску повітря в ресивері при постійній подачі зовнішнього повітря визначена маса повітря в ємності заданого обсягу при певній температурі та тиску. Для цього використано рівняння Менделєєва-Клапейрона. Для вирішення практичного прикладу прийнято ряд умов: повітря в теплиці сухе, зарядка і розрядка ресивера відбувається при однаковій температурі.

Отримано теоретичні закономірності часу стабілізації тиску повітря в ресивері при його постійній подачі від параметрів навколишнього середовища і заданих умовах роботи ресивера. Це дозволить обґрунтувати режим роботи газового накопичувача, його конструктивні параметри, а також закладають основи вибору пневматичної запірно-регулюючої арматури та електрогенераторів.

Поставлені завдання для технічної реалізації енергетичного комплексу. В основі подальшої роботи знаходиться завдання розширення переліку параметрів в закономірності визначення часу стабілізації тиску (врахувати коливання температур при заряді і розряді газового накопичувача, вплив параметрів повітря на ефективність роботи).

**Ключові слова:** поновлювана енергетика, накопичувач енергії, газовий накопичувач енергії.

**УДК 637.133.3** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-9**

# АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗНЕЗАРАЖУВАННЯ МОЛОКА З ВИКОРИСТАННЯМ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНИХ ФАКТОРІВ

**Кунденко М. П., д. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-5841-4367**
**Єгорова О. Ю., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-8593-1557**
**Бородай І. І., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0003-1045-4076**
**Кунденко О. М., аспірант*,**
**Шинкаренко І. М., інженер** **http://orcid.org/0000-0002-1318-3323**
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
E-mail: n.p.kundenko@ukr.net, тел.: (057)712-28-33

***Анотація*** - проведено огляд існуючих способів і технічних засобів для знезараження рідини з використанням електрофізичних факторів для теплової обробки молока, при цьому системний аналіз літературних джерел в області розробки технологічного обладнання для пастеризації і стерилізації, дозволив удосконалити процес знезараження молока і виявити ефективну модель пастеризаційної установки.

***Ключові слова:*** молоко, ультразвук, електромагнітні хвилі, пастеризація, бактерії, випромінювання, інтенсивність.

**Постановка проблеми**. Виробництво молока в світі стійко збільшується. Використання традиційної технології пастеризації в теплообмінниках, без додаткового впливу, стає неефективним. Тому використовують технічні пристрої з різними фізичними факторами. Виявлено, що найбільш рентабельно знезараження такого молока проводити безпосередньо на молочнотоварних фермах. Відомо, що при використанні джерел ультрафіолетового (УФ) та інфрачервоного (ІЧ) випромінювання для знезараження молока, мікроорганізми залишаються життєздатними, так як стерилізується лише поверхнево. Питомі енергетичні витрати при використанні актінізатора (УФ-ІЧ впливу) становить 17,8 .. .18,6 кВт·год. /т.

**Аналіз останніх досліджень.** Використання НВЧ випромінювань в технології обробки молока відкриває великі перспективи. Удосконалення установок і систем для пастеризації молока на тваринницьких фермах і комплексах пов'язане з впровадженням більш продуктивних і ефективних агрегатів. В даний час поліпшення процесу пастеризації молока досягається в основному за рахунок:

© Кунденко М. П., Єгорова О. Ю., Бородай І. І., Кунденко О. М., Шинкаренко І. М.
Науковий керівник – Черенков О. Д., д.т.н., професор

- застосування поліпшених пластинчастих теплообмінних апаратів;
- ефективного використання тепла і холоду в технологічних лініях;
- застосування нових методів обробки молока [1, 2].

Головна функція надвисокочастотної установки використовуваної в лінії пастеризації молока - знизити кількість бактерій в молоці в процесі його пастеризації за допомогою пластинчастого теплообмінника. При цьому відбувається глибинне знезараження молока в кожній елементарній частинці, і бактеріальна мікрофлора досягає летального результату.

**Метою роботи** є аналіз системи знезараження молока в процесі пастеризації на фермах, що забезпечує поліпшення мікробіологічних показників.

**Основні матеріали дослідження**. Одним з найбільш перспективних методів обробки молока є застосування інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювань, а також енергії електромагнітних випромінювань спектра радіохвиль. Це забезпечує безконтактну передачу енергії від джерела випромінювання до оброблюваної рідини. Експериментальна перевірка перших промислових апаратів для обробки молока із застосуванням ІЧ і УФ випромінювань, розроблених за кордоном, показала значну економічну ефективність і високу якість обробки молока [3, 4, 5].

Спосіб обробки молока електромагнітним випромінюванням (ЕМ) має переваги перед традиційною обробкою. Молоко служить гарним живильним, середовищем для різних мікроорганізмів: молочнокислих бактерій, кишкової палички, а також патогенної мікрофлори (туберкульозні палички, бруцельозні віруси та ін.). Для придушення мікрофлори вдаються до теплової пастеризації молока, яка складається в нагріванні до температури 65 ... 85 °С і витримки від 30 хв. до 10 с в залежності від температури [8, 9].

Режим пастеризації молока повинен забезпечити придушення патогенних мікроорганізмів, при збереженні всіх його якостей. При стерилізації знищуються всі мікроорганізми, що містяться в продукті. Найбільша збереження і якість молока досягаються при його обробці безпосередньо в місцях отримання, в господарствах.

Були проведені дослідження впливу інфрачервоного випромінювання в процесах пастеризації молока. Установка УОМ-ІК-1 забезпечує пастеризацію молока продуктивністю 1 т / год. при початковій його температурі від 6 до 35 °С і температурі пастеризації 78 ... 80 °С. Питома витрата електроенергії становить 0,016 ... 0,02 кВт·год./ т. Встановлена потужність 20 кВт. До складу установки входять зрівняльний бак, електрогідравлічний перепускний клапан, пульт управління, молочний насос, інфрачервоний пастеризатор, трубчастий витримувач, пластинчастий апарат з секціями

теплообміну. Секції інфрачервоного нагріву мають шістнадцять Ц-образних трубок кварцового скла, на яких навито спіралі з ніхрому, включених в електричний ланцюг паралельно. З них десять основних, чотири регулюючих режим пастеризації, дві запасні [1, 2].

Технологічний процес розпочинається з надходження молока в зрівняльний бак. Насос подає молоко в секцію рекуперації, де відбувається теплообмін його з гарячим пастеризованим молоком, далі на пастеризацію в секцію інфрачервоного опромінення і при температурі 80 ... 85 °С через перепускний клапан проходить в витримувач. Потім молоко направляється в рекуператор, де віддає теплоту, потоку холодного молока. Охолоджене в секції рекуперації молоко надходить послідовно через обидві секції охолоджувача і далі в резервуар для зберігання. При зниженні температури пастеризації молока нижче 77 °С, пропускний канал переводить потік молока на повторний обігрів. У Франції розроблені інфрачервоні пастеризатори (актінатори) для молока та інших харчових рідин. Дія їх заснована на високій поглинальній здатності молока до інфрачервоних променів. При опроміненні в тонкому шарі нагрів молока відбувається дуже швидко при невисоких витратах електроенергії, термін зберігання молока зростає в 1,5 рази. У процесах пастеризації молока набули розповсюдження електродні пастеризатори, які прості за принципом дії, але експлуатація цих пастеризаторів пов'язана з цілим рядом труднощів, наприклад, відбувається відкладення на електродах молочного каменю. При електродах з нержавіючої сталі допустима щільність струму не повинна перевищувати 0,1 А / см. Титанові електроди покриваються відкладеннями навіть при щільності струму, в 3 ... 5 разів перевищує допустиме значення.

Місцевий перегрів молока можливий при утворенні в камері нагрівання застійних зон, що свідчить про недосконаліть обраної електродної системи. Класичним прикладом апаратів подібного типу є електродний пастеризатор професора Атена (Голландія). Пастеризатор складається з 6 окремих скляних циліндрів, 7 графітових пластинчастих електродів з отворами і працює на напрузі від 0,22 до 3 кВ. Для регулювання кінцевої температури молока від 70 до 85 °С, змінюють швидкість його протікання. В апараті низької напруги (220 В), при продуктивності 300 ... 500 л /год. і нагріванні від 10 до 70 °С, витрата електроенергії становить 0,071 кВт год./ т [4].

Розглянемо роботу високочастотної пастеризації, яка відрізняється швидкодією і рівномірністю прогріву молока, що забезпечує мінімальні зміни його фізико-хімічних властивостей. Високочастотний пастеризатор Е. П. Виноградова проточного типу мав циліндричну камеру з ізолюючого матеріалу, яку охоплювали з двох сторін обкладання високочастотного конденсатора [7].

За дослідженнями Е. П. Виноградова, найкращі результати пастеризації досягаються при частотах 35 ... 50 МГц і швидкості нагріву 40 °С в секунду. На відміну від низькочастотних (електродних) пастеризаторів, в яких теплоутворення відбувається в основному в водяній частині молока, при високочастотній пастеризації відбувається прямий нагрів і інших складових молока і, зокрема, мікроорганізмів, що дозволяє здійснювати селективний нагрів і за рахунок цього знижувати температуру пастеризації до 50 °С, підібравши частоту, найбільш згубну для мікроорганізмів. Витрата електроенергії в високочастотних пастеризаторах досить висока і становить 0,05 ... 0,06 кВт·год. / т.

Знезараження молока ультрафіолетовим і інфрачервоним опроміненням (актінізація) здійснюють за допомогою установок актінізаторів, що встановлюються в потокову технологічну лінію первинної обробки молока [5, 6]. Попередньо очищене і нормалізоване молоко молочним насосом подається з ємності в секцію регенерації і підігрівається теплом молока, що пройшов пастеризаційний цикл. Далі підігріте молоко надходить в картер ультрафіолетового опромінення, де, проходячи по кварцовим трубах, опромінюється ультрафіолетовим спектром променів. Під дією цього опромінення в молоці з провітамінів утворюється вітамін. Збагачене вітаміном молоко з картера ультрафіолетового опромінення надходить в іншу секцію - регенерації, додатково підігрівається і подається для пастеризації в картер інфрачервоного випромінювання, де встановлено шість інфрачервоних випромінювачів з циліндричними відбивачами. У цьому картері по трубах з кварцового скла турбулентним потоком протікає молоко зі швидкістю 2 ... 2,5 м /с і нагрівається інфрачервоним опроміненням до заданої температури 80 ... 85°С. Інфрачервоні промені проникають через кварцове скло, не нагріваючи його, і всю енергію віддають молоку. Далі процес протікає за традиційною схемою.

Розроблено установки на основі впливу ультразвукових коливань. Для технічних цілей найбільшого поширення набув діапазон частот в межах від 16 до 1600 кГц [6]. Основні елементи системи ультразвукових коливань - це перетворювач, акустичний трансформатор швидкості і деталі кріплення. Найбільше поширення набули електричні джерела з п’єзоелектричними і магнітострикційними перетворювачами. В основі бактерицидної дії ультразвуку лежить механічна дія на бактерії, що викликає їх роздроблення. Руйнівна дія інтенсивних ультразвукових коливань в рідині обумовлена в основному явищем кавітації. Зона кавітації, в якій спостерігається бактерицидний ефект, називається зоною ефективної обробки [3, 5, 6].

Розглянемо знезараження молока бактерицидним випромінюванням. Є промислові установки для знезараження рідини з використанням бактерицидних ламп УФ випромінювань.

Установка бактерицидної обробки молока (УБТ-М) містить блок стерилізації, гідрозатвор, елементи приєднання молокопроводів і блок управління, які змонтовані в закритому й опечатаному корпусі.

Установка УБТ-М проста і надійна в експлуатації; налаштовується на будь-яку продуктивність від 1 до 3 т/год. Питома енергоємність становить 16,6 Вт·год. / л. Джерело живлення змінний струм 220 В, 50 Гц. Маса установки 50 ... 80 кг.

Достатня ефективність процесу пастеризації молока досягається впливом електромагнітного поля високої частоти. Для цього розроблені варіанти проточних і непроточних високочастотних пастеризаторів. При конструюванні систем електродів завдання зводиться до підвищення рівномірного розподілу напруженості електричного поля в оброблюваної рідини. Вони забезпечують мінімальні зміни його фізико-хімічних властивостей.

Головне завдання - це отримання високоякісного молока з більш тривалим терміном зберігання. Тому нами проаналізовані фізичні способи, які ми маємо сьогодні в сучасній технології. Це: магнітна обробка, інфрачервоні пастеризатори і електродні пастеризатори і т. д. Є технології знезараження молока УФ та ІЧ опроміненням, актінізатором. Після секції регенерації в цій технологічній лінії використовується УФ опромінення. Під дією цього опромінення в молоці з провітамінів утворюється вітамін Д, тобто поліпшується якість. Термічна обробка відбувається за допомогою інфрачервоного опромінення, а агентом нагріву є ІЧ промені, а не пар. Такий метод не ефективний при високому бактеріальному обсіменінні.

**Висновок.** Одним з найбільш перспективних методів обробки молока є застосування інфрачервоного і ультрафіолетового випромінювань, а також енергії електромагнітних випромінювань спектра радіохвиль. Це забезпечує безконтактну передачу енергії від джерела випромінювання до оброблюваного матеріалу. Найбільш перспективні апарати УФ та ІЧ опромінень молока закритого типу, що передбачають обмеження потоку молока і забезпечують турбулентний режим руху рідини, що сприяє кращому перемішуванню всієї маси молока. Використання таких апаратів дає можливість при розрахунках користуватися середньої дозою опромінення по перетину потоку молока, середньою швидкістю руху його, визначати ступінь знищення бактерій в процесі опромінення за усередненим значенням цих величин і часу опромінення. Спосіб обробки молока УФ -ІЧ-випромінюванням має переваги перед термічною обробкою, так як для здійснення процесу не потрібно котлів-пароутворювачів, окремих

приміщень. Тому, заміна екзогенного тепла на ендогенне тепло, актуальна. Використання УФ - НВЧ випромінювань в технології обробки молока відкриває великі перспективи. Однак цей метод не отримав ще широкого практичного застосування в нашій країні. НВЧ нагрів має значні переваги, що за рахунок перерозподілу енергії електромагнітного поля у всьому об'ємі продукту між клітинами мікроорганізмів і середовищем можна здійснити такі режими термообробки, при яких клітини будуть нагріватись швидше, ніж їх навколишнє середовище. Стерилізацію молока можна зробити при менших температурах і за коротший час.

**Список використаних джерел**

1. *Кунденко М. П.* Розробка нового обладнання для теплової обробки молока. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Сер. Проблеми енергозабезпечення в АПК України.* Харків, 2001. № 6. С. 464-467.

2. *Кунденко М. П., Кіптела Л. В., Романченко М. А.* Удосконалення інфрачервоного пастеризатора. Прогресивні ресурсозберігаючі технології та їх економічне обґрунтування на підприємствах харчування. *Економічні проблеми торгівлі*. Харків, 2001. Ч. 1. С. 386-391.

3. *Кунденко Н. П.* Особенности распространения ультразвука в биологической среде. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 4. С. 181-186.

4. *Кунденко М. П., Єгорова О. Ю., Бородай І. І., Шинкаренко І. М.* Аналіз впливу ультразвукових полів на біологічні об’єкти. *Сучасний рух науки*: матеріали VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Дніпро, 4-5 квітня 2019 р.). Дніпро, 2019. С. 606-611.

5. *Кунденко М. П.* Застосування акустичних полів в сільському господарстві. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка.* Харків, 2010. Вип. 102. С. 123-124.

## АНАЛИЗ СПОСОБОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ МОЛОКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

**Кунденко Н. П., Егорова О. Ю., Бородай И. И., Кунденко А. Н., Шинкаренко И. Н.**

***Аннотация*** - проведен обзор существующих способов и технических средств для обеззараживания жидкости с использованием электрофизических факторов для тепловой обработки молока, системный анализ литературных

источников по технологическому оборудованию для пастеризации и стерилизации, позволил усовершенствовать процесс обеззараживания молока и выявить эффективную модель пастеризационной установки.

***Ключевые слова:*** молоко, ультразвук, электромагнитные волны, пастеризация, бактерии, излучение, интенсивность.

## ANALYSIS OF METHODS AND TECHNICAL MEANS FOR DISINFECTING MILK USING ELECTROPHYSICAL FACTORS

**M. Kundenko, O. Yegorova, I. Boroday, O. Kundenko, I. Shynkarenko**

***Summary***

One of the most promising methods of milk processing is the use of infrared and ultraviolet radiation, as well as the energy of electromagnetic radiation of the spectrum of radio waves, which provides contactless transmission of energy from the radiation source to the treated material. The most promising ultraviolet and inflammatory apparatuses of closed-type milk, which provide for limiting the flow of milk and provide a turbulent flow of fluid, facilitates better mixing of the whole milk mass. The use of such devices makes it possible, when calculations, to use the average dose of irradiation through the flow of milk, the average speed of its movement, to determine the degree of destruction of bacteria in the process of irradiation by the average value of these values and the time of irradiation. The method of milk processing with UV-IR radiation has advantages over heat treatment, since for the implementation of the process does not require boilers-steam generators, separate premises. Therefore, the replacement of exogenous heat with endogenous heat is relevant. The use of UV-UHF radiation in milk processing technology offers great prospects. However; This method has not yet received wide practical application in our country. Microwave heating has significant advantages that due to the redistribution of the energy of the electromagnetic field in the entire volume of the product between the cells of microorganisms and the environment, it is possible to make such heat treatment regimes, in which the cells will heat up faster than their environment. Sterilization of milk can be done at lower temperatures and in a shorter time. In most cases, the milk is heated by transferring heat from the outside to the inside: due to thermal conductivity. By rational selection of the oscillation frequency and parameters of the chambers, where microwave energy is converted into heat, it is possible to ensure a relatively uniform heat release over the volume of milk. It should be noted the ease of supplying microwave energy to any part of the heated milk.

Selective heating is based on the dependence of losses in milk on the wavelength, i.e. dependences of the dielectric loss tangent as a function of length, wave. In this case, in a multicomponent mixture of milk only those parts will be heated where the tangent of the dielectric loss angle is high. Traditionally, heat transfer occurs through convection, thermal conductivity and radiation; From here, the temperature gradient from the surface to the depth of the product is inevitable, and the greater, the lower the thermal conductivity. With the help of microwave energy, it is possible not only to evenly heat the milk in its volume, but also to obtain any given temperature distribution; Therefore, when microwave heating speeds up the technological process of milk processing.

***Keywords:*** milk, ultrasound, electromagnetic waves, pasteurization, bacteria, radiation, intensity

**УДК 519.71:[681.5:664.1]** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-10**

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ СОКУ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

**Ляшенко С. О.[1], д.т.н.** **http://orcid.org/0000-0001-8304-9309**
**Кісь В. М.[1], к.т.н.** **http://orcid.org/0000-0002-7014-4873**
**Фесенко А. М.[1],** **http://orcid.org/0000-0002-3950-3604**
**Ляшенко О. С.[2], к.т.н.** **http://orcid.org/0000-0002-0146-3934**
*[1] Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
*[2] Харківський національний університет радіоелектроніки*
E–mail: lyashenkosa05@ukr.net, тел.: 067-91-451-43

***Анотація*** **-** розглянуто проблеми неефективної роботи цукрових заводів в Україні, а також, відповідно, і вплив роботи випарного відділення цукрового заводу, що забезпечує парою всі основні виробництва заводу, на енергоефективність буряко-цукрового виробництва. Проведеним дослідженням визначено вплив технологічних та технічних параметрів роботи багатокорпусних випарних установок, що працюють по різних схемах випарювання, на роботу всього цукрового заводу. Розглянуто енергоефективність процесу випарювання у різних типах випарювальних установок та встановлено перспективні підходи до вирішення проблеми енергоспоживання та енергорозподілу.

Визначено характерні конструктивні та технологічні особливості технологічного обладнання багатокорпусних випарних установок, що використовуються при різних схемах процесу випарювання соку. Зроблено аналіз впливу якісних показників технологічного процесу випарювання на якість продукції, що випускається. Показано шляхи вирішення проблем, що виникають при зниженні якості продукції і ефективності виробництва цукру, коли не враховуються показники якості сировини, що переробляється, впродовж виконання технологічного процесу випарювання.

Визначено проблеми в роботі автоматизованих систем управління технологічним процесом випарювання. У зв'язку зі складністю процесу випарювання соку у багатокорпусній випарній установці і впливом різних показників процесу як технологічного, так і якісного характеру визначено основні вектори процесу управління в автоматизованих системах управління технологічним процесом випарювання соку. Для вирішення цієї проблеми розглянуто ефективні підходи щодо використання і побудови простих регресійних математичних моделей, які можна впроваджувати в математичне забезпечення конкретних автоматизованих систем управління. Побудовані математичні моделі роботи багатокорпусної випарної установки, що враховують як показники технологічного характеру, так і показники якості продукції, що

© Ляшенко С. О., Кісь В. М., Фесенко А. М., Ляшенко О. С.

використовуються в автоматизованих системах управління технологічними процесами цукрового заводу. Обґрунтована ефективність запропонованих моделей для роботи в системі автоматизованого управління процесом виварювання. Відповідно, є підстава стверджувати, що отримані регресійні математичні моделі, де враховано як показники технологічного характеру, так і показники якості соку у першому наближенні можна використовувати у системі автоматизованого управління випарювання соку.

***Ключові слова:*** математична модель, показники якості, багатокорпусна випарна установка, критерії ефективності, технологічний процес, автоматизована система управління.

**Постановка проблеми.** Важливою задачею цукрового виробництва в Україні є забезпечення населення цукром. Цукрове виробництво є складним комплексом, що відноситься до основних продуктових галузей аграрної промисловості держави. Цукрове виробництво у переробній галузі сільськогосподарського напряму є одним з найбільш складних та енергозатратних.

Сучасне високоефективне цукрове виробництво характеризується такими показниками як якість продукції, енергоефективність, собівартість. Підвищення ефективності цих показників забезпечується використанням найсучасніших технологій виробництва, обладнання, автоматизованих систем управління процесами та обладнанням, а також організацією цукрового виробництва [1, 2].

Найбільш енегрозатратним етапом цукровиробництва є випарювання цукрового соку у випарній установці. Враховуючи складність і слабку енергоефективність цього процесу, актуальним завданням є втілення додаткових показників технологічного процесу (ТП), що носять якісний характер, в систему автоматизованного управління випарного відділення. Підвищення ефективності управління процесом випарювання здійснюється шляхом впровадження простих регресійних моделей у математичне забезпечення АСУТП, що враховують і якісні показники соку, який переробляється у випарній установці (ВУ) цукрового заводу.

**Аналіз останніх досліджень**. Сучасний цукровий завод є високоефективним та складним об’єктом, що має багато виробничих етапів. Залежно від якості сировини у ході переробки продукції оператори часто бувають вимушені змінювати технологічну схему переробки продукції відповідно до змін показників якості та кількості продукції за допомогою АСУТП [3].

Всі технологічні процеси отримання цукру на заводі супроводжуються значним споживанням теплової енергії. Основним відділенням цукрового заводу, що приймає свіжу пару від ТЕЦ і забезпечує всі підрозділи заводу парою на технологічні потреби, є

випарне, з основним його обладнанням – випарною установкою. Тому для цукрових заводів України стратегічний напрямок економії – зменшення споживання свіжої пари у технологічному процесі випарювання [2, 3].

На цукрових заводах України теплові схеми найчастіше базуються на використанні п’ятикорпусних випарних установок. За ритмічної роботи заводу з переробки буряків нормальної якості, підвищення температури кипіння соку не дає видимого негативного впливу на технологічні показники: наростання кольоровості та розкладання цукру. Найчастіше у цукровій промисловості України використовують випарні апарати (ВА) з природною циркуляцією, що мають досить високі технічні та технологічні показники. Найбільша ефективність роботи забезпечується за певного оптимального рівня соку, що регулюється автоматично і залежить перш за все від концентрації соку [2, 3].

До недоліків таких апаратів можна віднести обмеження по висоті теплообмінних труб і діаметру корпусу. Крім того, для економії паливно-енергетичних ресурсів, підвищують концентрацію сиропу до рівня 70...75 % вмісту сухих речовин (СР). Але при цьому теплотехнічні характеристики ВА погіршуються. Іншим недоліком ВА з природною циркуляцією є відносно значний питомий об’єм соку, це збільшує тривалість його перебування в апараті під дією високих температур. Як наслідок, погіршення якості сиропу, а отже, підвищення кольоровості та вмісту редукувальних речовин у готовій продукції [4].

Одними з показників, що визначають якість випарюваного соку і дають можливість контролювати хід процесу випарювання, є каламутність, лужність та pH соку [1, 5]. Результати досліджень показують, що сік має показник каламутності вищий у 20-38 разів для соку I сатурації, у 19-41 рази для соку II сатурації [6]. За відсутності контрольного фільтрування соку I сатурації осад, що залишився, пептизується і всі нецукри переходять у сік. Крім того, у сокові, що знаходиться впродовж довгого часу в умовах підвищеної лужності і температури, збільшується кольоровість [7].

У процесі виробництва різні органічні та неорганічні речовини, які є у соці або утворюються при згущенні та уварюванні сиропу, впливають на якість продукції. Їх концентрація обумовлює кольоровість продукту і залежить від параметрів проведення цих процесів. Таким чином, для отримання готової продукції високої якості необхідно проводити оперативний контроль не тільки

кольоровості готової продукції, але й ретельний контроль кольоровості продуктів виробництва [1, 2, 6, 8].

Наростання вмісту забарвлених речовин залежить від pH середовища, температури, тривалості і гідродинаміки процесу, питомої поверхні випарної установки, конструктивних особливостей апаратів [8].

Закордонні фахівці у галузі цукрового виробництва вважають, що існує чітка кореляційна залежність між показниками «кольоровість» та «каламутність» цукру. Зробивши порівняльну оцінку критеріїв якості, які використовують на підприємствах по виробництву напоїв, і ДСТУ 4623:2006, можна відмітити, що кореляційна залежність існує [8, 9].

Під час випаровування різні складові частини соку, що є супутниками сахарози, реагуючи з вапном, змінюються в цукрових розчинах під впливом концентрації та температури і випадають в осад. Відкладення осадів на поверхні нагріву, яке зазвичай називають накипом, залежить від способу отримання і очищення соку, від властивостей буряку та інших допоміжних матеріалів. Крім того, осади на поверхні нагріву зменшують коефіцієнт теплопередачі у ВУ, що призводить до зниження її продуктивності [6, 9].

Проаналізувавши різноманітні конструктивні особливості ВУ та режими роботи випарного відділення, можна відмітити, що на роботу ВУ значний вплив здійснюють: накип у кипятильних трубках ВУ, якість соку, температура соку та пари, а також інші показники [3, 9].

Отже, постійна продуктивність ВУ за кількістю випареної води може підтримуватися лише протягом деякого часу. Її подальша робота призводить до зменшення концентрації сухих речовин у сиропі і значного збільшення витрати тепла на технологічні потреби виробництва.

Для видалення накипу застосовуються найрізноманітніші способи - хімічні, механічні, гідродинамічні і т.д. Протягом десятиліть найбільш поширеним способом було хімічне очищення. Очищення поверхонь нагріву ВА від накипу відносять до трудомістких робіт. Але більш актуальними у наш час є способи попередження накипоутворення у випарній установці без зупинки її роботи. З цією метою і за кордоном, і в Україні використовують реагенти, так звані антинакипіни, що додають у сік, який подається на ВУ [3, 9].

Аналіз типових режимів роботи ВУ на цукрових заводах в Україні свідчить, що основні показники роботи (температура, тиск та витрати пари, температура кипіння соку, питомі поверхні теплообміну

тощо) змінюються, і це є підставою для коригування режимів роботи ВУ і застосування сучасних АСУТП [1, 3].

Основними причинами зниження виробничих характеристик ВУ є низька енергоефективність виробництва, недотримання технологічного процесу і низький рівень автоматизації виробничих процесів, що, в свою чергу, призводить до зменшення виходу якісного цукру [3].

Основними напрямами забезпечення енергоефективності є:

– удосконалення теплової схеми завода;

– забезпечення високого рівня використання вторинних енергоресурсів;

– комплексна автоматизація технологічних і теплотехнічних процесів на всіх ділянках цукрового виробництва на базі мікропроцесорної техніки та комп’ютерно-інтегрованих технологій.

Отже, доцільним напрямком оптимізації енергоефективності цукрового завода і зокрема ВУ є використання сучасних засобів автоматизації та програмного забезпечення в АСУТП.

На більшості заводів функціонують складні ієрархічні системи автоматизації цукрового виробництва, які базуються на структурах 3 – 4 рівнів створення АСУТП: як правило, нижчому, середньому, верхньому і додатковому, корпоративному. Вони містять різні типи контролерів, зв'язок з якими здійснюється різноманітними мережами передачі даних [10–12]. Ця концепція комплексної автоматизації базується на впровадженні ефективного сучасного програмного та математичного забезпечення і технічно та технологічно обумовлена особливостями управління цукровим виробництвом контролерами, об’єднаними з серверами мережами Ethernet [12].

Ефективна робота ВУ неможлива без автоматизованого контролю та регулювання її технологічних параметрів. Зокрема, автоматизація ВУ має забезпечити: підтримання оптимальних рівнів у корпусах ВУ, контроль теплотехнічних, якісних та технологічних параметрів, надійність [10–13].

Так, у роботі [12] запропоновано оптимізувати технологічний процес ВУ цукрового заводу шляхом впровадження математичних моделей для автоматизованих систем управління на основі методу Тагучі. При цьому забезпечується скорочення енергоспоживання за умов врахування як вхідних параметрів витрати соку та заданої температури нагрівання. Але модель не була випробувана у виробничих умовах та не враховані особливості складу сировини, що переробляється.

У роботі [13] наведені результати розробки математичної моделі

випарної установки, що дозволяє оптимізувати процес отримання цукру шляхом удосконалення розподілення фіксованої сумарної поверхні між теплообмінниками за умови максимальних обсягів соку та мінімальної кількості необхідної пари. Але невирішеним залишається питання коригування подачі пари та часу випарювання за умови зміни якості буряку, що надходить на переробку. Дослідження є доповненням аналізу [14], що фокусується на взаємодії теплообмінників і ВА, не заглиблюючись у технологічні аспекти процесу виробництва цукру.

Крім того недоліками розглянутих АСУТП є принципові проблемні елементи Ethernet (негарантована доставка деяких інформаційних потоків по магістралі до АРМ і сервера у реальному часі, зниження швидкості обміну інформації за умови зміни ТП чи збільшення виробничих потужностей і т.д.) [15, 16].

Практично усі існуючі АСУТП цукрового виробництва не відповідають у повній мірі сучасним викликам. Зокрема, вони направлені на автоматизацію окремих відділень на основі ПІД-регуляторів, що не може враховувати постійні зміни режимів роботи виробництва, невідповідність потужностей різних типів обладнання та параметрів сировини тощо.

Тому доцільним є забезпечення енергоефективної роботи ВУ на основі впровадження в АСУТП при математичному моделюванні процесу додаткових параметрів, які визначають більш глибоко якість соку, що надходить на випарювання. Отже, виникає необхідність зміни концепції створення АСУТП цукрового виробництва за рахунок впровадження системного підходу, щодо універсалізації та інтелектуалізації методів і засобів [12, 15, 16].

**Ціль і задачі дослідження.** Метою роботи є побудова математичних моделей процесу випарювання у випарній установці для налаштування АСУТП цукрового заводу, які б враховували і якісні показники соку і забезпечували підвищення ефективності цього процесу.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

– визначити основні показники, що впливають на роботу ВУ;

– побудувати регресійні математичні моделі роботи ВУ, де б застосовувались технологічні показники процесу випарювання, і модель, де б враховувались і показники якості у технологічному процесі;

– обгрунтувати ефективність запропонованих моделей роботи ВУ.

**Основна частина. Матеріали та методи побудови математичних моделей для процесу випарювання у ВУ цукрового заводу для АСУТП.** Ефективність математичного моделювання процесів для АСУТП може оцінюватися певними частковими критеріями, у тому числі: точністю результатів моделювання; адекватністю, економічністю, універсальністю моделі і т.д. Основними етапами моделювання є: побудова концептуальної моделі об'єкта та її формалізація; алгоритмізація моделі об'єкта та її машинна реалізація; одержання та інтерпретація результатів моделювання. Під формалізацією у математичному моделюванні розуміють процес створення опису об'єкта мовою математики. Такий опис має врешті-решт давати змогу визначати кількісні оцінки властивостей об'єкта.

У ході процесу випарювання соку контролювались показники якості цукру, відповідно до вимог ДСТУ 4623:2006. Кольоровість визначалась згідно з ДСТУ 4866:2007/ГОСТ 12572-2007.

Ще одним важливим показником, що може знижувати якість як цукрових сиропів, так і готової продукції, є каламутність. Методика визначення каламутності та її нормативні значення повинні визначатися відповідно до Правил усталеної практики ПУП 15.83-37-106:2007 «Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру із цукрових буряків» [4].

**Визначення системи впливу показників роботи ВУ на технологічний процес випарювання.** ВУ як об'єкт автоматизованого управління характеризується рядом векторів, які загалом визначаються як вхідні, вихідні, збурення та інформаційні.

Визначальним фактором вихідного вектора, який впливає на якісні показники цукру, є якість сиропу, що виходить з ВУ, і характеризується такими показниками як каламутність, кольоровість, зольність та інші. Щоб отримати цукор доброї якості (дБ), чистота сиропу при виході з ВУ повинна бути близькою до 92% [2, 3, 5].

Для того, щоб оцінити вплив цих векторів при моделюванні процесу випарювання на об'єкт автоматизованного управління (ВУ), необхідно визначити повний склад найбільш важливих показників ТП. З цією метою побудуємо загальну структурну схему взаємодії векторів, що визначають функціонування ВУ як обєкта для системи автоматизованного управління. На основі проведеного аналізу впливу різних показників ТП на ефективність виробництва було запропоновано структурну схему показників (рис. 1), що визначають функціонування ВУ як обєкта для АСУТП.

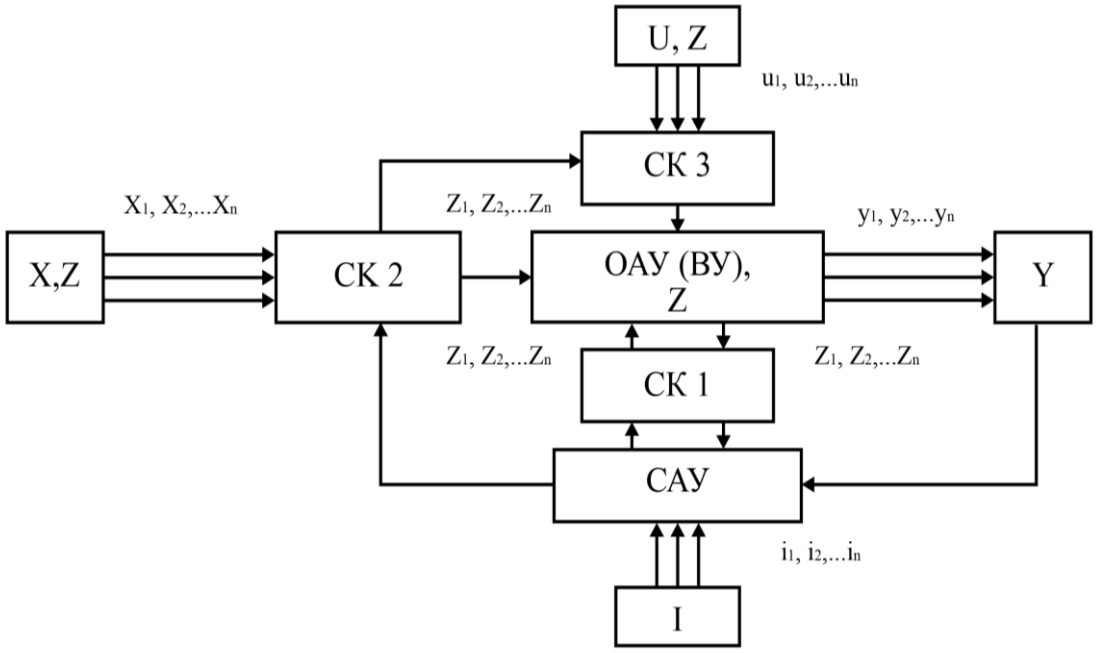



Рис. 1. Загальна структурна схема факторів, що визначають функціонування ВУ як обєкта для авматизованного управління: X – вхідний вектор; Y – вихідний вектор; U – вектор керування; Z – вектор збурень; I – інформаційний вектор; ОАУ – обєкт автоматизованного управління ВУ; САУ – система автоматизованого управління ВУ; СК 1-3 – система керування (контролери) ВУ

Вхідний вектор (X) утворює наступні показники потоку соку, що подається на ВУ ($x_1$, $x_2$, ... $x_n$): витрата фільтрованого соку 2-ї сатурації ($G_c$), вміст сухих речовин (СР), доброякісність очищеного соку (дБ), концентрація соку (С), pH, температура (Т) і т.д. Вихідний вектор (Y) складається з таких показників ($y_1$, $y_2$,...,$y_n$) як витрата сиропу після ВУ, кольоровість та мутність сиропу, pH, час процесу випарювання. Вектор керування (U) з показниками ($u_1$, $u_2$, ...,$u_n$), складається з витрати гріючої пари, тиску та температури пари, що подається на ВУ. Вектор збурень (Z) включає такі змінні як температура та теплоемкість гріючої пари, тиск гріючої пари, розрідження на конденсаторній установці, а також деякі показники вхідного вектора (вміст сухих речовин, доброякісність соку, pH, температура). До показників збурень можна віднести і накип у кипятильних трубах ВУ. Інформаційний вектор (I) надає значення факторів груп X, Y, U, Z в АСУТП та порівнює зі значеннями оптимізованих параметрів ВУ і, як результат, система автоматизованного контролю здійснює керувальний вплив на режими роботи ВУ. До проміжних інформаційних показників керування відносяться рівні в корпусах ВУ,

температура кипіння по корпусах, рівні в збірниках соку, аміачної води, конденсату, сиропу, концентрації соку, pH тощо.

**Побудова регресійних лінійних моделей роботи ВУ.** Процес випарювання – динамічний процес, що вимагає при побудові математичної моделі визначення показників процесу та взаємозв'язку між ними. Ці дані необхідні для створення ефективного математичного забезпечення в системі управління процесом випарювання. На рис. 2 наведена типова схема АСУТП для випарювання соку, яка дає можливість здійснювати управління та регулювання ТП.

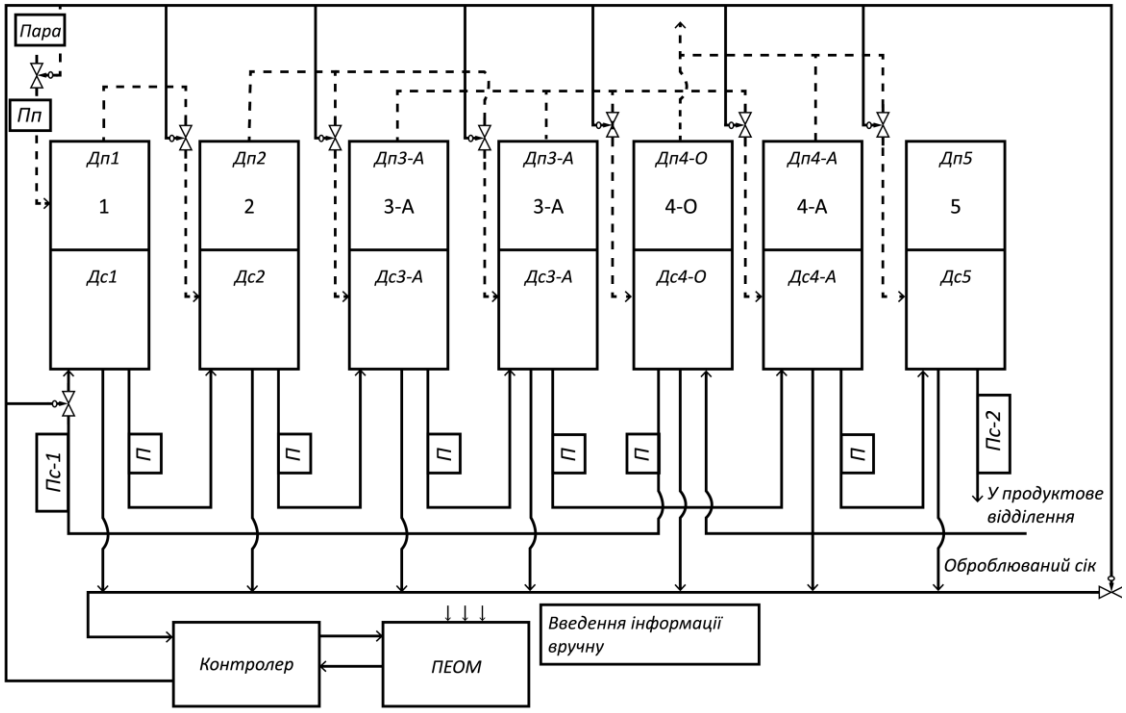



Рис. 2. Автоматизована типова схема управління технологічним процесом у випарному відділенні: 1-5 – корпуси ВУ; Дс1-Дс5 – дані соку у корпусах ВА; Дп1-Дп5 – дані пару у корпусах ВА; Пп – показники пару, що подається на ВА; Пс1 – показники соку, що подається на ВА; Пс2 – показники сиропу, що виходить з ВУ; П – показники соку, що випарюється, після ВА

У ПЕОМ вводяться дані лабораторних аналізів продукції. Введення даних і результатів лабораторних аналізів та розрахункових даних у ПЕОМ, а також характеристик теплових режимів роботи ВУ дає можливість здійснювати управління ТП випарювання.

У процесі досліджень було розглянуто два варіанти роботи АСУТП.

Варіант 1. Використовувались лише технологічні показники

процесу випарювання. Підігрівання соку, що подається на ВУ, здійснювалося відповідно до типової схеми роботи – через підігрівачі на перший корпус ВУ.

Варіант 2. Використовувались технологічні та якісні показники процесу випарювання. Підігрівання соку, що подається на ВУ, здійснювалося відповідно до удосконаленої типової схеми роботи – через четвертий корпус ВУ.

Варіант 1. При побудові регресійної моделей роботи БВУ як вихідний параметр був розглянутий $Y$ – вихід сиропу з ВУ, а вхідними параметрами були: $X_1$ – витрата соку на вході у ВУ; $X_2^{1\text{-}5}$ – витрати пари у ВУ; $X_3$ – температура соку на вході у ВУ; $X_4^{1\text{-}5}$ – температура пари по корпусам ВУ; $X_5^{1\text{-}5}$ – рівень розчину у корпусах ВУ.

Крім цього, інформаційними параметрами ВУ є температура у гріючій камері 1-го корпусу, рівень у збірнику сиропу, тиск у надсоковому просторі 1-5-го корпусів ВУ і т. д.

Основні дані оптимальнних технологічних змінних режимів роботи для ВУ і результати їх обробки наведені у табл. 1.

Таблиця 1

**Дані оптимальних технологічних змінних режимів роботи випарної установки**

| Рівні оптимального режиму роботи | Витрата соку на ВУ, $X_2$ (% до м.б.) | Витрата пари на ВУ, $X_2$ (кг/год) | Температура соку на вході у ВУ, $X_3$ (ºС) | Температура пари по корпусам, $X_4$ (ºС) | Рівень соку у ВУ, $X_5$ (м/ до висоти трубок, %) | Вихід сиропу з ВУ, $Y$ (% до м.б.) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 – 5 корпуси | | 1 – 5 корпуси | 1 – 5 корпуси | |
| Верхній | 132,8 | 31021 – 1583 | 130 | 136,3 – 96 | 2,01 – 1,41 | 35 |
| Нижній | 0 | 200 | 90 | 129,1 – 84 | 1,91 – 1,31 | 25 |
| Статистичні параметри розподілу | | | | | | |
| $D_x^2$ | 174,6 | 2154,3 – 638,4 | 24,3 | 24,8 – 75,4 | 2,46 – 4,3 | 11,6 |
| $m_x$ | 74,6 | 162406 – 728 | 95,6 | 132,4 – 89,5 | 1,95 – 1,34 | 27,5 |
| $Med_x$ | 70,4 | 15730 – 704 | 85,4 | 146,4 – 95,4 | 1,98 – 1,28 | 28,2 |
| $A_x$ | -1,2 | 0,5 – 0,6 | 1,1 | -0,7 – (-0,5) | -0,2 – (-0,3) | 0,7 |
| $E_x$ | 4,8 | 6,5 – 4,3 | 3,9 | 3,2 – 5,0 | 2,1 – 4,3 | 2,6 |

При побудові моделей ТП випарювання для цукрового виробництва використовувались прості регресійні моделі, що описуються рівнянням

$$Y_j = \sum_{i=1}^{k} a_i \cdot X_i + b_j;\ i = \overline{1,k}, \qquad (1)$$

де $Y_j$ – залежні змінні, $j = \overline{1,m}$, при цьому $m<k$;
$X_i$ – незалежні змінні;
$a_i$ – коефіцієнти, що відповідають незалежній змінній $X_i$ ;
$i$ – кількість незалежних змінних;
$b_i$ – постійні.

Для знаходження параметрів $a_i$ і $b_j$ рівняння регресії (1) використовувався МНК [17–20].

Застосування МНК дало можливість отримати наступну регресійну модель для першого варіанту роботи у БВУ

$$Y = 23{,}7 + 3{,}86X_1 + 7{,}21X_2 - 0{,}95X_3 + 5{,}28X_4 + 12{,}7X_5. \qquad (2)$$

Варіант 2. По аналогії з вищенаведеним визначенням регресійної математичної моделі роботи БВУ вихідним параметром теж було розглянуто *Y*– вихід сиропу з ВУ, а вхідними параметрами були: $X_1$– витрата соку на вході у ВУ; $X_2$– температура соку перед ВУ; $X_3$ – СР на вході у ВУ; $X_4$ – pH на вході у ВУ; $X_5$ – рівень розчину у корпусах ВУ; $X_6$ – температура пари на ВУ, $X_7$ – час випарювання.

Крім цього застосовувались і аналогічні інформаційні параметри роботи ВУ для вводу у ПЕОМ. Дані оптимальних якісно-технологічних змінних режимів роботи випарної установки наведені у табл. 2.

Таблиця 2

**Дані оптимальних якісно-технологічних змінних режимів роботи випарної установки**

| Рівні оптимального режиму роботи | Витрата соку до ВУ, *Q*, % до м.б., $X_1$. | Температура соку та сиропу, ºС, $X_2$. | Сухі речовини, %, $X_3$ | pH, $X_4$ | Каламутність соку, фіз. од. мг/м$^3$, $X_5$ | Температура пари на ВУ, ºС, $X_6$ | Час, год., $X_7$ | Витрата соку після ВУ, *Q* % до м.б, У |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Нижній | 120 | 125 | 13,5 | 10,7 | 27 | 125 | 0,8 | 28 |
| Верхній | 122 | 127 | 14,5 | 10,9 | 29 | 127 | 1,0 | 30 |

Визначення структури моделі для опису залежності витрати соку після ВУ від вхідних факторів процесу випарювання здійснювалось методом покрокової регресії.

Після застосування МНК була отримана наступна модель:

$$Y = 53{,}2 + 12{,}34X_1 + 6{,}42X_2 + 13{,}23X_3 + \\ + 18{,}35X_4 - 2{,}7X_5 + 15{,}3X_6 + 4{,}2X_7. \quad (3)$$

Для визначення ефективності отриманої моделі (критерія оптимізації) необхідно перевірити її експериментальні результати на адекватність за допомогою крітерію Фішера.

**Обґрунтування ефективності запропонованих моделей роботи ВУ.** У різних елементах ВУ відбуваються принципово різні за своєю природою технологічні процеси. Основними вимогами, висунутими для отриманих форм математичних моделей, є вимоги можливості реалізації цих моделей та адекватний опис розрахунковою моделлю функціонального поводження елемента системи в умовах реальної експлуатації [18, 19].

За результатами експериментальних даних, що були отримані в системі АСУТП цукрових заводів, розраховано накопичені частоти $P_0(x)$, очікувані накопичені частоти для нормального розподілу, потім вибиралося максимальне значення $|P_0(x)-S(x)|$, за допомогою якого і визначався критерій узгодження Колмогорова – Смірнова $D$. Отримане значення порівнювалося з критичним. Результати наведеного порівняння дозволили зробити висновки, що з імовірністю 95 % можна прийняти гіпотезу про нормальний розподіл основних змінних підсистем, що розглядаються.

Для основних змінних досліджуваних технологічних процесів визначалися наступні статистичні характеристики: математичне очікування $m_x$, дисперсія $D_x$, медіана $Med_x$, коефіцієнт асиметрії, коефіцієнт ексцесу [15]. Медіана $Med_x$ розраховується як стала оцінка центра експериментальних даних з викидами, що мінімально на неї впливають.

У цілому ж критерії, розроблені для вибору структури, зручно розділити на дві групи: критерії, що використовують екзаменаційну вибірку, та критерії, що не використовують екзаменаційну вибірку.

До критеріїв першої групи відносяться і критерії типу ковзаючого контролю (cross-validation) [20–23].

Під час розрахунку критеріїв, що відносяться до другої групи, використовується залишкова сума квадратів помилок моделі

$$RSS = \frac{1}{K}\sum_{i=1}^{K}[y(i) - \hat{y}(i)]^2, \quad (4)$$

де *y(i), ŷ(i)* - вимірювання і оцінки.

Цей показник не може бути критерієм для вибору структури, оскільки із збільшенням складності моделі *S* відбувається все більш точне наближення, що можливо і допустимо лише за відсутності перешкод. Якщо відомо, що шум має нормальний розподіл, то використовують скоригований *RSS*

$$\frac{RSS}{K - S} \quad (5)$$

або ж статистика Фішера

$$F(S) = \frac{K}{K - S}\frac{RSS(S)}{\|y - \hat{y}\|^2}. \quad (6)$$

МНК є одним з найбільш використовуваних методів для розробки математичних моделей за результатами пасивних спостережень за роботою об'єкта. Вибір змінних для введення у регресійне рівняння здійснюється на основі статистичних критеріїв адекватності Фішера (*F*) і Ст'юдента (*t*-критерій).

Критерій Фішера визначає, чи є отримані математичні моделі адекватними експериментальним даним, тобто чи взаємозв'язок між залежною вихідною величиною досліджуваного об'єкта і незалежними змінними є випадковим, чи ні. Перевірка гіпотез про адекватність моделей (стаціонарності процесу) за критерієм Фішера визначається з виразів:

$$F_{розр} = \frac{\sigma_S^2}{\sigma_Y^2}, \quad (7)$$

де $\sigma_Y^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}\frac{1}{m-1}\sum_{j=1}^{m}(Y_{ij} - Y_j)}{i}$;

$$\sigma_S^2 = \frac{n}{n-1}\sum_{n-1}^{n}\left(Y_i - Y_{ij}\right);$$

$$Y_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i^2}{n};$$

*i*– кількість серій досліджень, $i = \overline{1,n}$;

*j* – кількість досліджень у кожній серії, $j = \overline{1,m}$.

Визначене за формулою (7) значення $F_{розр}$ порівнюється з табличним $F_{табл}$ за кількості ступенів свободи ($f$), необхідних для знаходження значень критерію Фішера і номінальному рівні значимості $\alpha$=5 %. При цьому необхідне виконання умови $F_{розр}>F_{табл}$.

Значення $t$ – критеріїв використовуються для визначення значимості кожного параметра ($X_i$) у отриманих математичних моделях і дозволяють ранжувати відповідні параметри за величиною їхнього впливу на математичну модель у цілому.

Перевірка статистичної значимості параметрів регресійного рівняння (коефіцієнтів регресії) виконується за $t$ – критерієм Ст'юдента, який розраховується за формулою:

$$t_p = \frac{|P|}{S_p}, \qquad (8)$$

де $P$ – значення параметра;

$S_p$ – стандартне відхилення параметра.

Розраховане значення критерію Ст'юдента порівнюють з його табличним значенням за обраної довірчої імовірності (як правило, 0,95) і числі ступенів свободи $N–k–1$, де $N$ – число точок, $k$ – кількість змінних у регресійному рівнянні. Значення $t$– критерію дозволяють ранжувати відповідні параметри за величиною їхнього впливу на математичну модель у цілому.

Значення критеріїв Стьюдента та Фішера для математичної регресійної моделі (2) БВУ у випарному відділенні цукрового заводу, де використовувались технологічні показники наведено в табл. 3.

Таблиця 3

**Значення критеріїв Стьюдента та Фішера для математичної моделі багатокорпусної ВУ (1-й варіант)**

| Умовні позначення параметрів | Рівень соку | | $t$ – критерій табл. | $F_{табл.}$ |
|---|---|---|---|---|
| | $t$ – критерій розрахунковий | $F_{розр.}$ | | |
| $X_1$ | 3,57 | 231,7 | 2,78 | 4,36 |
| $X_2$ | 4,69 | | | |
| $X_3$ | 2,86 | | | |
| $X_4$ | 3,25 | | | |
| $X_5$ | 2,82 | | | |

Значення для критеріїв Стьюдента свідчать, що в усіх випадках розрахункове значення більше табличного. Це означає, що для розроблених математичних моделей управління параметрами

технологічних процесів випарювання всі значення коефіцієнтів параметрів за ступенем їхнього впливу мають значення, і їхні значення повинні бути враховані при розрахунку управляючого параметру. Порівнюючи значення критеріїв Фішера можна побачити, що $F_{розр}>F_{табл}$ виконується. Це означає, що математичні моделі, у першому наближенні, можна використовувати для управління параметрами ВУ в АСУТП цукрового заводу.

Значення критерію Фішера для отриманої регресійної моделі (3) для процесу з якісними показниками дорівнює $F_{розр}=162,3$ при $F_{табл}=4,36$, а значення критерію Ст'юдента $t_{розр} = 3,67$ при $t_{табл} = 2,78$.

Порівнюючи значення критеріїв Фішера можна побачити, що умова $F_{розр}>F_{табл}$ теж виконується. А математичні моделі, у першому наближенні, також можна використовувати для управління параметрами ВУ.

**Вплив якісних показників ТП випарювання на роботу ВУ.** При визначенні ефективності роботи випарної станції можна відмітити, що всі недоліки в роботі обладнання і невідповідності в режимах роботи ВУ призводять до зниження енергоефективності цукрового виробництва і зниження якості продукції, що випускається. Ефективність цукрового виробництва на заводах України, що характеризується коефіцієнтом заводу і показує ступінь отримання цукру та характеризує роботу всіх відділень заводу, знаходиться у межах 0,80 – 0,9, тоді як у Європі цей показник знаходиться у межах 0,9 – 0,96 [2–4, 15].

Одним з факторів, що знижує продуктивність цукрового виробництва, є розбалансованість якісних і технологічних показників виробництва. Наприклад, при виконанні ТП не враховуються показники якості, а тільки технологічні фактори. Значна кількість показників якості цукру вітчизняними ДСТУ не регламентується. Визначеннння каламутності здійснюється відповідно ДСТУ 4866:2007 /ГОСТ 125720 2007 «Методи визначення кольоровості і каламутності», але при керуванні ТП за допомогою АСУ ці дані не беруться до уваги. Зарубіжні організації – споживачі цукру для гарантії якості вироблених продуктів контролюють показник каламутності. Коливання значення цього показника допускається в межах від 12 до 157 фіз. од. для цукру-піску різних виробників.

Зробивши порівняльну оцінку критеріїв якості, які використовують на зарубіжних та вітчизняних підприємствах по виробництву напоїв і ДСТУ 4623:2006, можна відмітити, що кореляційна залежність є [8].

При цьому варто зазначити, що вищевизначені проблеми взаємопов'язані, і вирішувати їх треба комплексно. Отже, оптимізація процесу повинна здійснюватись за рахунок втілення автоматизованих систем управління (АСУТП), що грунтуються на застосуванні сучасного технічного, програмного та математичного забезпечення [1, 16]. Основним кроком до вирішення задачі оптимізації процесу випарювання є визначення реальних математичних моделей виробництва, які б повністю і адекватно характеризували процеси, що досліджуються у цукровому виробництві [12, 15, 16].

**Висновки.** Встановлено, що основними технологічними показниками, які впливають на процес випарювання і використовуються в АСУТП, є температура соку, тиск пари, витрати соку та пари, рівень соку у ВУ. Також до основних показників, які впливають на технологічний процес випарювання, варто віднести і показники якості, такі як кольоровість, каламутність, що використовуються при визначенні показників якості цукру. Побудовано регресійні математичні моделі роботи ВУ, де були враховані технологічні та якісні показники процесу випарювання соку. Розроблені моделі процесу випарювання, основані на технологічних та якісних показниках процесу, дозволяють оптимізувати час випарювання, а це дозволить підвищити енергоефективність та забезпечити більш високу якість продукції. Встановлено, що розроблені математичні моделі для автоматизованого управління параметрами технологічного процесу випарювання з 95 % вірогідністю адекватні за крітерієм Фішера та ефективні, і їх можна використовувати в АСУТП цукрового заводу.

**Список використаних джерел**

1. Координація функціонування технологічних дільниць цукрового заводу з урахуванням задач прогнозування / *А. П. Ладанюк* та ін. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2006. № 6. С. 112-115.

2. Енергозбереження на цукрових заводах України / *К. О. Штангеєв* та ін. *Цукор України*. 2014. № 2 (98). С.14-17.

3. *Штангеєв К. О.* Випарні установки та теплові схеми цукрових заводів. Київ, 2015. 57 с.

4. ПУП 15.83-37-106:2007. Правила ведення технологічного процесу виробництва цукру із цукрових буряків. Київ, 2007. 432 с.

5. Екологічні аспекти контролю якості цукру у харчових виробництвах: звіт про науково-дослідну роботу № 28-08-10Б / керівник теми Непочатих Т. А. ХДУХТ, 2010. 115 с. URL:

http://library.nuft.edu.ua/ebook/file/zvit28-08-10b.pdf (дата звернення: 12.01.2019).

6. *Кухар В. Н., Чернявская Л. И.* Мутность растворов сахара и методы ее уменьшения. *Сахар.* 2014. № 3. С. 38–44.

7. *Скорик К. Д.* Вплив порушень технологічних режимів виробництва на якість цукру. URL: http://www.ipdo.kiev.ua/index.php?option= com_content&view=article&id=433&Itemid=10&lang=uk (дата звернення: 12.01.2019).

8. ДСТУ 4623:2006. Цукор білий. Технічні умови. [Чинний від 2007-07-01]. Київ, 2007. 18 с.

9. *Хомічак Л.* Причини утворення і способи попередження інкрустації на теплотехнологічному обладнанні бурякоцукрового виробництва. *Науку у виробництво*. 2017. № 3. URL: http://sugar-journal.com.ua/custom/files/Vestnik_ua /2017/09/4-10.pdf (дата звернення: 12.01.2019).

10. Методы классической и современной теории автоматического управления / под ред. К. А. Пупкова. Москва, 2004. Т. 3: Синтез регуляторов систем автоматического управления. 614 с.

11. *Wenbo Na.* Control system for continuous soaking process in sugar refinery. *2009 International Conference on Information and Automation.* 2009. P. 254-258. DOI: 10.1109/ICINFA.2009.5204931.

12. *George S., Kyatanavar D.* Optimization of Evaporation Process in Sugar Industry for Developing Intelligent Control Strategies. *International Journal of Modern Trends in Engineering and Research*. 2015. № 7. P. 998–1004.

13. *Chantasiriwan S.* Determination of optimum vapor bleeding arrangements for sugar juice evaporation process. Food process engineering. 2017. № 41 (1). P. 1-8. DOI: 10.1111/jfpe.12616.

14. *Chantasiriwan S.* Investigation of Performance Improvement of the Evaporation Process in Raw Sugar Manufacturing by Increasing Heat Transfer Surfaces. *Chemical Engineering Communications*. 2017. Vol. 204, № 5. P. 599-606. DOI: 10.1080/00986445.2017.1292260.

15. *Ляшенко С. А.* Автоматизация процессов управления технологическими отделениями сахарного производства на основе нейросетевого похода: дисс. … д-ра техн. наук. Харьков, 2015. 417 с.

16. *Прокопенко Т. О.* Інформаційні технології управління організаційно-технологічними об’єктами в умовах невизначеності та ризиків: автореф. дис. … д-ра техн. наук. Київ, 2016. 48 с. URL: http://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/21997/1/AVTOREF_PROKOPENKO _2016.pdf (дата звернення: 20.01.2019).

17. *Shaw J. A.* Process Control. *Process Plant Equipment* / eds M. D. Holloway, C. Nwaoha and O. A. Onyewuenyi. 2012. DOI: 10.1002/9781118162569.ch21.

18. Statistical Process Control Methods. Bloomsbury Publishing. (Ed.). QFINANCE Calculation Toolkit. 2013. London: Bloomsbury Information Ltd. P. 239–241. URL: http://dx.doi.org/10.5040/9781472920294.0089 (Last accessed: 20.01.2019)/

19. *Сарычев А. П.* Усредненный критерий регулярности в методе группового учета аргументов. *Системные технологии*. 2015. № 2 (97). С. 45-56. URL: http://st.nmetau.edu.ua/journals/97/6_a_ru.pdf (дата звернення: 20.01.2019).

20. British Standards Document. BS ISO 22514-8. Statistical methods in process management. Capability and performance. Machine performance of a multi-state production process. 2014. URL: https://doi.org/10.3403/30265649U (Last accessed: 20.01.2019).

21. *Zambom A. Z, Kim J.* Consistent significance controlled variable selection in high-dimensional regression. *Stat*. 2018. 7:e210. DOI: org/10.1002/sta4.210.

22. *Frees E.* Variable Selection. In Regression Modeling with Actuarial and Financial Applications (International Series on Actuarial Science, Cambridge: Cambridge University Press. 2009. P. 148-188. URL: https://www.cambridge. org/core/books/regression-modeling-with-actuarial-and-financial-applications/ variable-selection/A5EEE96B713237E8275EB6308A97DCCB (Last accessed: 20.01.2019).

23. *Gutenko D.* Selecting quasi-constant weight code parameters for systems of automatics. *Czasopismo Techniczne*. 2018. № 10. P. 119-126.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ СОКА ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

**Ляшенко С. А., Кись В. Н., Фесенко А. М., Ляшенко А. С.**

***Аннотация*** - рассмотрены проблемы неэффективной работы сахарных заводов в Украине, а также, соответственно, и влияние работы выпарного отделения сахарного завода, которое обеспечивает паром все основные производства завода, на энергоэффективность свекло-сахарного производства. Проведенным исследованием определено влияние технологических и технических параметров работы многокорпусных выпарных установок, которые работают по разным схемам выпаривания, на работу всего сахарного завода. Рассмотрена энергоэффективность процесса выпаривания в разных типах

выпарных установок и определены перспективные подходы для решения проблемы энергопотребления и энергораспределения.

Определены характерные конструктивные и технологические особенности оборудования многокорпусных выпарных установок, которые используются при разных схемах процесса выпаривания сока. Сделан анализ влияния качественных показателей технологического процесса выпаривания на качество выпускаемой продукции. Показаны пути решения проблем, которые возникают при снижении качества продукции и эффективности производства сахара, если не учитываются свойства перерабатываемого сырья в течении всего технологического процесса выпаривания.

Определены проблемы в работе автоматизированных систем управления технологическим процессом выпаривания. В связи со сложностью процесса выпаривания сока в многокорпусной выпарной установке и влиянием различных показателей процесса как технологического, так и качественного характера определены основные векторы процесса управления в автоматизированных системах управления технологическим процессом выпаривания сока. Для решения этой проблемы рассмотрен довольно эффективный подход использования и построения простых регрессионных математических моделей, которые можно применять в математическом обеспечении автоматизированных систем управления. Построены математические модели работы многокорпусной выпарной установки, где учитываются как показатели технологического характера, так и показатели качественного характера выпускаемой продукции, и которые применяются в автоматизированных системах управления технологического процесса сахарного завода. Обоснована эффективность предложенных моделей для работы в системе автоматизированного управления процесом выпаривания. Следовательно, есть основание утверждать, что полученные регрессионные математические модели, где учтены как показатели технологического характера, так и показатели качества сока в первом приближении можно использовать в системе автоматизированного управления выпаривая сока.

***Ключевые слова:*** математическая модель, показатели качества, многокорпусная выпарная установка, критерии эффективности, технологический процесс, автоматизированная система управления.

## DETERMINATION OF THE JUICE EVAPORATION MATHEMATICAL MODELS EFFICIENCY FOR AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEMS

**S. Liashenko, V. Kis, A. Fesenko, A. Liashenko**

### *Summary*

The problems of low efficiency of sugar mills in Ukraine are identified. The focus was made on the impact of the evaporation stage as a main branch of a sugar mill, which provides steam for entire mill's production, on the energy efficiency. The study determined the influence of technological and technical parameters of an evaporator on the work of an entire sugar mill. The energy efficiency of the evaporation in the different types of evaporors is considered and promising approaches to solve the problem of energy consumption are determined.

The typical structural and technological features of equipment for evaporators which are used in different schemes of the juice evaporation are given. It was determined there are both the technological indicators of the juice evaporation (temperature, pressure, juice and steam consumption, juice level in evaporators), and quality indicators that characterize the juice and the syrup (solids, alkalinity, good quality, turbidity, color, etc).The analysis of the influence of qualitative indicators of the evaporation technological process on quality of the products is made. The ways of solving the problems are determined which can occur when the product quality decreases and the efficiency of sugar production falls, if the properties of the processed raw materials are not taken into account during the whole technological process.

The problems in the work of evaporation automated process control systems are considered. Due to the complexity of the juice evaporation in an evaporators and the influence of both various technological and qualitative process indicators, we identified the main vectors of the control process in automated process control systems of the evaporation. To solve this problem we offer an approach to the effective use and elaboration of simple regression mathematical models that can be applied in the mathematical support of the specific control process systems. Mathematical models of the evaporator operation were worked out, where both technological and qualitative indicators of the products are taken into account, and which are used in the automated process control systems of a sugar mill. The efficiency of the proposed models for operation in the automated process control systems of the evaporation process is substantiated. So there is reason to argue that the resulting regression model which takes into account the quality indicators of the juice can be used in the first approximation in the automated process control system of a sugar mill.

**Keywords**: Mathematical model, criteria of efficiency, technological process, evaporation, automated process control system.

**УДК 697.34** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-11**

# ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ З УРАХУВАННЯМ НЕРІВНОМІРНОСТІ ПІДВЕДЕННЯ ТЕПЛОТИ ДО ПРИМІЩЕНЬ ТА НЕСИСТЕМНИХ УТЕПЛЕНЬ

**Ганжа А. М, д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0003-3967-2421**
**Марченко Н. А., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0001-9889-3713**
**Семененко Л. В, аспірант***
*Національний технічний університет "Харківський політехнічний інститут"*
e-mail: e-mail ganzha_371@ukr.net

***Анотація*** **–** розроблено уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності, ефективності опалювальних приладів, системи опалення багатоповерхового будинку в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок та несистемних утеплень. Проведено аналіз ефективності системи теплопостачання будівлі з урахуванням фактичного стану системи опалення та огороджувальних конструкцій. Використання розроблених методик та комплексів алгоритмів допоможе більш точно розраховувати системи опалення на етапі проектування, визначити ефективність і перевитрати теплової енергії в процесі експлуатації та зменшити їх, розробити рекомендації з поліпшення забезпечення тепловою енергією споживачів.

***Ключові слова*****:** теплопостачання, опалення, багатоповерховий будинок, утеплення, ефективність

**Постановка проблеми.** Сучасний стан будівель і споруд, що споживають теплову енергію, незадовільний, вони потребують масової термомодернізації і реконструкції. Все це викликає нарікання у споживачів теплоти, особливо, коли вартість природного газу зросла до майже 11000 грн. за тис. куб.м. і значно зросли тарифи на теплову і електричну енергію. У даний час розпочалася сертифікація житлових будинків на предмет їх енергетичної ефективності. Тому розроблення методів і засобів ідентифікації ефективності теплопостачання житлових багатоповерхових будинків є актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень.** На даний час у системах опалення будинків, які побудовані до початку 90-х років на території України, широко поширені схеми, де застосовуються стандартні прилади опалення: радіатори, конвектори типу "Акорд" чи "Комфорт" та ін.

© Ганжа А. М., Марченко Н. А., Семененко Л. В.
Науковий керівник – Ганжа А. М., д. т. н., професор

(див. рис. 1) [1]. Схема подачі теплоносія по стояку в основному "зверху-униз" (див. рис. 2 а). Однак зустрічаються також менш ефективна схема подачі "знизу-уверх" (див. рис. 2 б). При цьому в основному застосовується якісне регулювання подачі теплоти споживачам, що має на увазі регулювання температури теплоносія, який подається, на джерелі теплопостачання при постійній витраті теплоносія [2].

У проектних розрахунках систем опалення прилади підбиралися виходячи з теплового навантаження будинку з урахуванням навантажень приміщень. Однак, при проектуванні не завжди враховувалися розходження у температурах теплоносія на вході в кожен опалювальний прилад, тому що при подачі теплоносія по стояку однотрубної системи, наприклад, "униз", ця температура буде поступово зменшуватися від верхнього поверху до нижнього [3].

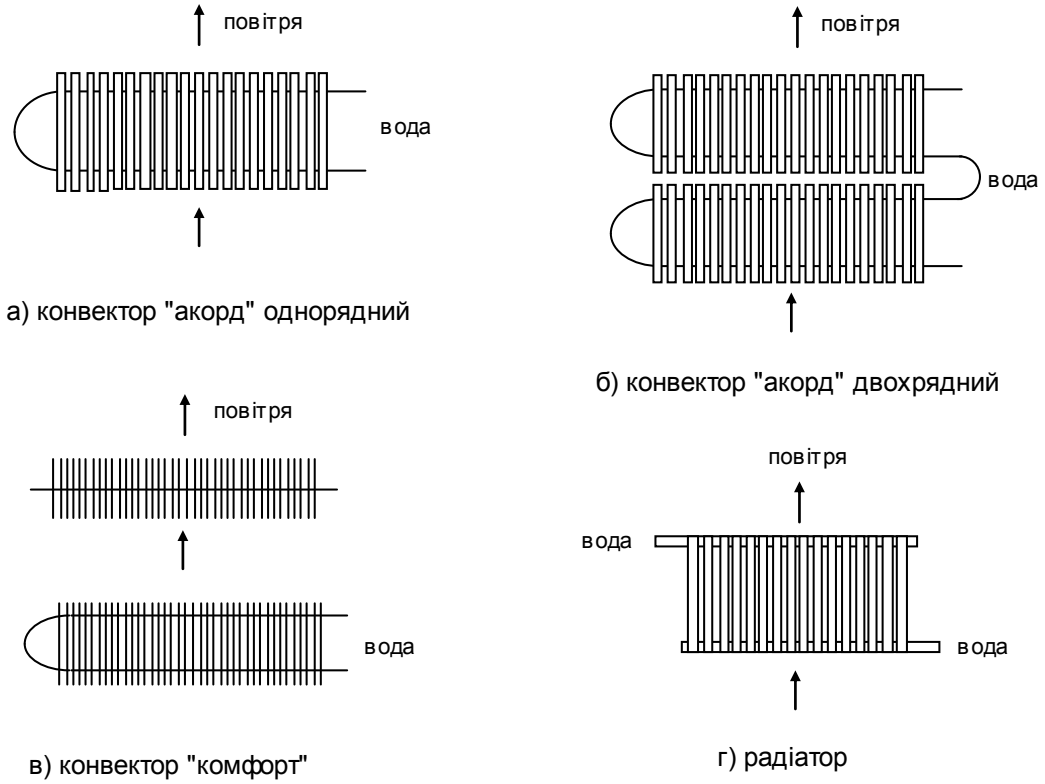



Рис. 1. Основні прилади системи опалення

Розходження в розташовуваній температурі теплоносія для кожного поверху буде приводити до розходжень теплової продуктивності опалювальних приладів і, отже, – розходженням температури повітря усередині приміщень кожного поверху по стояку. Це призводить до зниження якості теплопостачання квартир, розташованих в основному на нижніх поверхах. Під час постійних перебоїв з постачаннями газу на початку 90-х років через погіршення

якості теплопостачання відбулися неконтрольовані переробки внутрішніх будинкових систем шляхом додавання приладів опалення в основному на нижніх поверхах. Крім того, у даний час відбувається масове несистемне (фрагментарне) утеплення зовнішньої поверхні огороджувальних конструкцій будівель. При поверненні до нормальних рівнів температур теплоносія на цих стояках відбувається перевитрата теплової енергії. При збільшенні витрати теплоносія по стояку в порівнянні з розрахунковим відбувається також перевитрата теплоти (перетоп) і збільшення температури усередині приміщень. Тому розроблення методів і засобів, які будуть враховувати всі ці фактори, дозволить поліпшити теплопостачання будинків, визначити та підвищити їх енергоефективність.

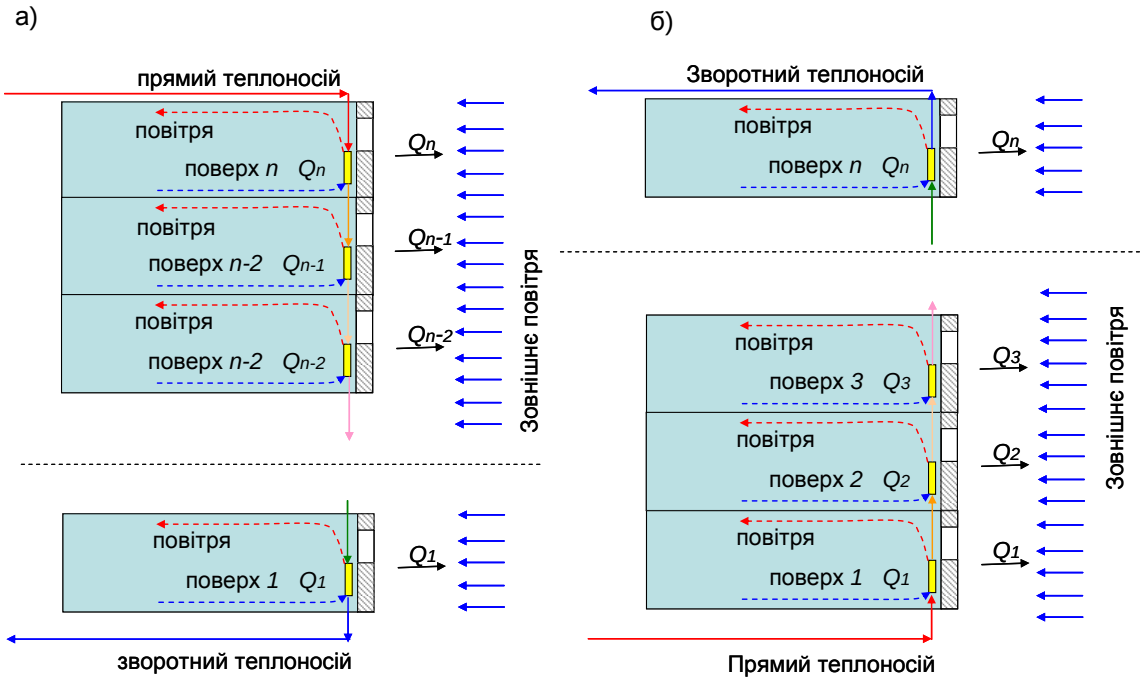



Рис. 2. Основні схеми подачі теплоносія по стояку

**Формулювання цілей статті** (постановка завдання). В роботі поставлена мета: розробити уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності, ефективності опалювальних приладів, системи опалення та будинку в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- створити уточнені методи та засоби визначення фактичної ефективності опалювальних приладів та систем опалення з урахуванням неконтрольованих перероблень;

- розробити уточнені методи та засоби визначення фактичної ефективності огороджувальних конструкцій з урахуванням несистемних утеплень;
- провести аналіз ефективності систем теплопостачання будівлі.

**Основні матеріали дослідження** (основна частина). При розрахунку теплової продуктивності системи опалення звичайно використовують залежність [2, 4, 5]

$$Q_{\text{о}} = \varepsilon \cdot W_{\text{м}} \cdot \nabla, \qquad (1)$$

де $Q_{\text{о}}$ – теплова продуктивність всієї системи (стояка);

$W_{\text{б}}$ і $W_{\text{м}}$ – більше і менше значення водяного еквівалента середовищ, що обмінюються теплотою;

$\nabla$ – максимальна різниця температур між середовищами (теплоносієм і повітрям на вході);

$\varepsilon$ – безрозмірна питома теплова продуктивність. Традиційно для її визначення використовується відома емпірична формула Ю.Я. Соколова [2, 4, 5]

$$\varepsilon = \frac{1}{\frac{0{,}5+\mu}{1+\mu} + \frac{1}{\omega}}, \qquad (2)$$

де $\omega$ – параметр, $\omega = \frac{K \cdot F}{W_{\text{м}}}$;

$K$ і $F$ – коефіцієнт теплопередачі і сумарна площа теплопередачі всіх опалювальних приладів стояка;

$\mu$ – коефіцієнт змішування в змішувальному пристрої (елеваторі).

Для подачі "знизу-уверх" використовується поправочний множник 0,7.

Ця формула справедлива для стояка системи опалення в цілому та водяному еквіваленті повітря у всіх приладах $W_{\text{б}}$ значно більшому водяного еквівалента води $W_{\text{м}}$. Залежність не враховує нерівномірність розподілу температур теплоносія і повітря по поверхах. Використання її призводить до неточного визначення теплової продуктивності кожного опалювального приладу та неврахування розподілу теплопродуктивностей приладів по поверхам.

Для опалювальних приладів величина ($K \cdot F$) визначається по узагальненій формулі [2, 4, 5]

$$k \cdot F = \Phi \cdot \left( \frac{Q_{\text{o}}}{Q_{\text{o}}^{'}} \right)^{\frac{n}{1+n}}, \qquad (3)$$

де Ф – параметр теплообмінника, величина постійна, $\Phi = 7{,}844 \cdot F_{\text{екм}}$;

$F_{\text{екм}}$ – число еквівалентних квадратних метрів опалювальних приладів. Еквівалентний квадратний метр – це площа нагрівального приладу, що віддає в 506 Вт (435 ккал/год), при середній різниці температури теплоносія і повітря 64,5 °С и витраті води через прилад 17 кг/год [1, 2];

$Q_{\text{o}}^{'}$ – розрахункова теплова продуктивність приладів опалення;

$n$ – показник ступеня, $n$=0,17÷0,33; для радіаторів $n$=0,25; конвекторів $n$=0,2 [1, 2, 4, 5].

Теплова продуктивність окремого опалювального приладу, Вт, визначається по залежності

$$Q_{\text{o}} = 506 \cdot F_{\text{экм}} \cdot \varphi_1, \qquad (4)$$

де $\varphi_1$ – коефіцієнт, що враховує зміну температурного напору у опалювальному приладі. Графік надається у [1], який тотожний залежності

$$\varphi_1 = \left( \frac{\Delta t_{\text{сер}}}{64{,}5} \right)^{n+1}. \qquad (5)$$

Розроблено уточнену методику розрахунку безрозмірної питомої теплової продуктивності опалювальної приладів – конвекторів типу "Акорд" чи "Комфорт" і радіаторів (див. рис. 1), що входить у загальний алгоритм розрахунку системи опалення.

Складено узагальнену розрахункову схему опалювального приладу, що відповідає узагальненій схемі дискретного розрахунку складного багатоходового теплообмінника зі змішаним плином [6].

Загальний алгоритм визначення ґрунтується на пошуку теплової продуктивності для приладу опалення на кожнім поверсі по стояку з ув'язуванням формул (1), (3) та (4). При цьому безрозмірна теплова

продуктивність приладу опалення розраховується не по залежності (2), а по створеному алгоритмі дискретного розрахунку. У систему рівнянь додатково входить зв'язок між розрахунковими і фактичними тепловими навантаженнями

$$\frac{Q_{\text{о}}}{Q_{\text{о}}^{'}} = \frac{t_{\text{в}} - t_{\text{н}}}{t_{\text{в}}^{'} - t_{\text{н}}^{'}} \cdot \frac{k}{k'}, \qquad (6)$$

де $t_{\text{в}}$, $t_{\text{н}}$ и $t_{\text{в}}^{'}$, $t_{\text{н}}^{'}$ – фактичні і розрахункові температури внутрішнього і зовнішнього повітря;

$k'$, $k$ – розрахунковий та фактичний еквівалентний коефіцієнти теплопередачі огороджувальної конструкції приміщення з урахуванням утеплення стіни та заміни вікон.

У результаті для кожного поверху визначається фактична теплова продуктивність приладу опалення і витрата циркулюючого повітря через нього. За допомогою цих параметрів визначається фактична температура повітря на виході з нагрівального приладу та усередині приміщення, температура теплоносія на виході. Вихідними даними є витрата і температура теплоносія на вході в систему опалення з температурного графіка, температура зовнішнього повітря, еквівалентний квадратний метр приладу опалення на кожнім поверсі. Теплова продуктивність усієї системи визначається як сума продуктивностей усіх приладів.

Зроблено аналіз для стояка системи опалення 9 поверхового будинку з приладами опалення у виді однорядних конвекторів "Акорд" А20 із площею 1 екв.кв.м. на кожнім поверсі і подачею теплоносія "униз". Розрахунок зроблений у двох варіантах: з розрахунковою витратою води через прилади за графіком якісного регулювання і перевищенням цієї витрати в 2 рази. Додатково зроблений розрахунок при заміні на 1 і 2 поверхах приладів опалення на дворядні конвектори "Акорд" 2А16 із площею 1,47 екв.кв.м. Температура зовнішнього повітря приймалася розрахункової для м. Харків -23°С, температура теплоносія на вході в систему опалення 95°С. Варіанти компонування стояка приведено на рис. 3, а результати розрахунків приведені на рис. 4.

З аналізу результатів видно, що в обох випадках існує нерівномірність розподілу теплових потоків по поверхах. У першому випадку тепловий потік на верхньому поверсі склав 564 Вт, на нижньому – 447 Вт. Температура внутрішнього повітря на нижніх

поверхах нижче нормативної. Теплове навантаження всього стояка та усереднена температура внутрішнього повітря по поверхах дорівнюють проектним значенням. У випадку перевищення витрати теплоносія в 2 рази тепловий потік на нижньому поверсі дорівнює проектному 506 Вт, а на верхньому – 569 Вт. Відповідно температура усередині приміщень на нижньому поверсі складає 18°С, а на верхньому 23°С. У цьому випадку перевитрата теплової енергії дорівнює 6 % від розрахункової витрати. У третьому випадку, коли існують неконтрольовані переробки, спостерігається велика нерівномірність розподілу температур по поверхах. Температура внутрішнього повітря на 1 і 2 поверсі збільшилася до 21÷23°С, хоча на 3 та 4 поверхах вона залишилася нижче норми. При цьому перевитрата теплової енергії склала 4 % від розрахункової витрати.

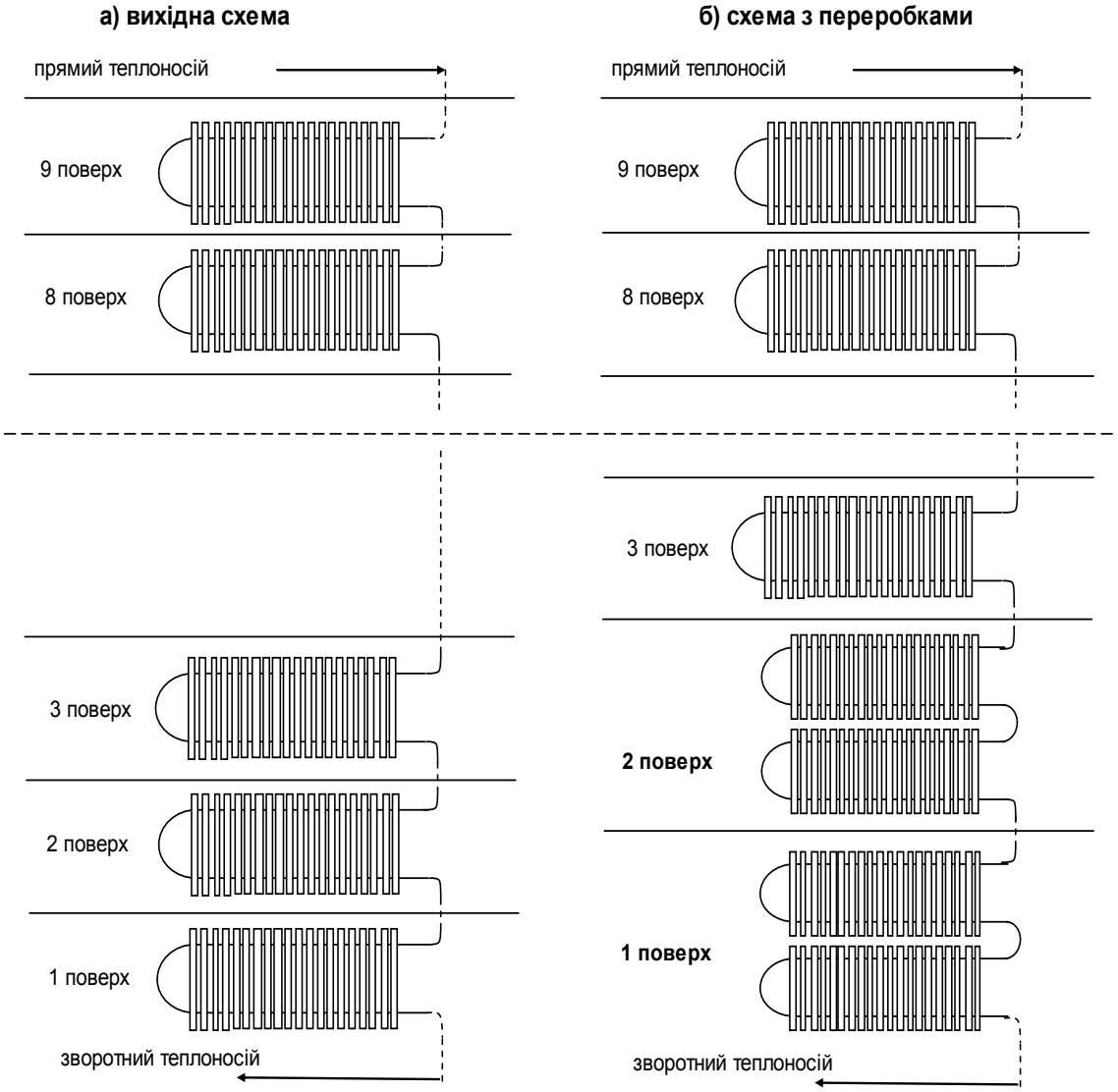



Рис. 3. Варіанти схем стояка у розрахунках

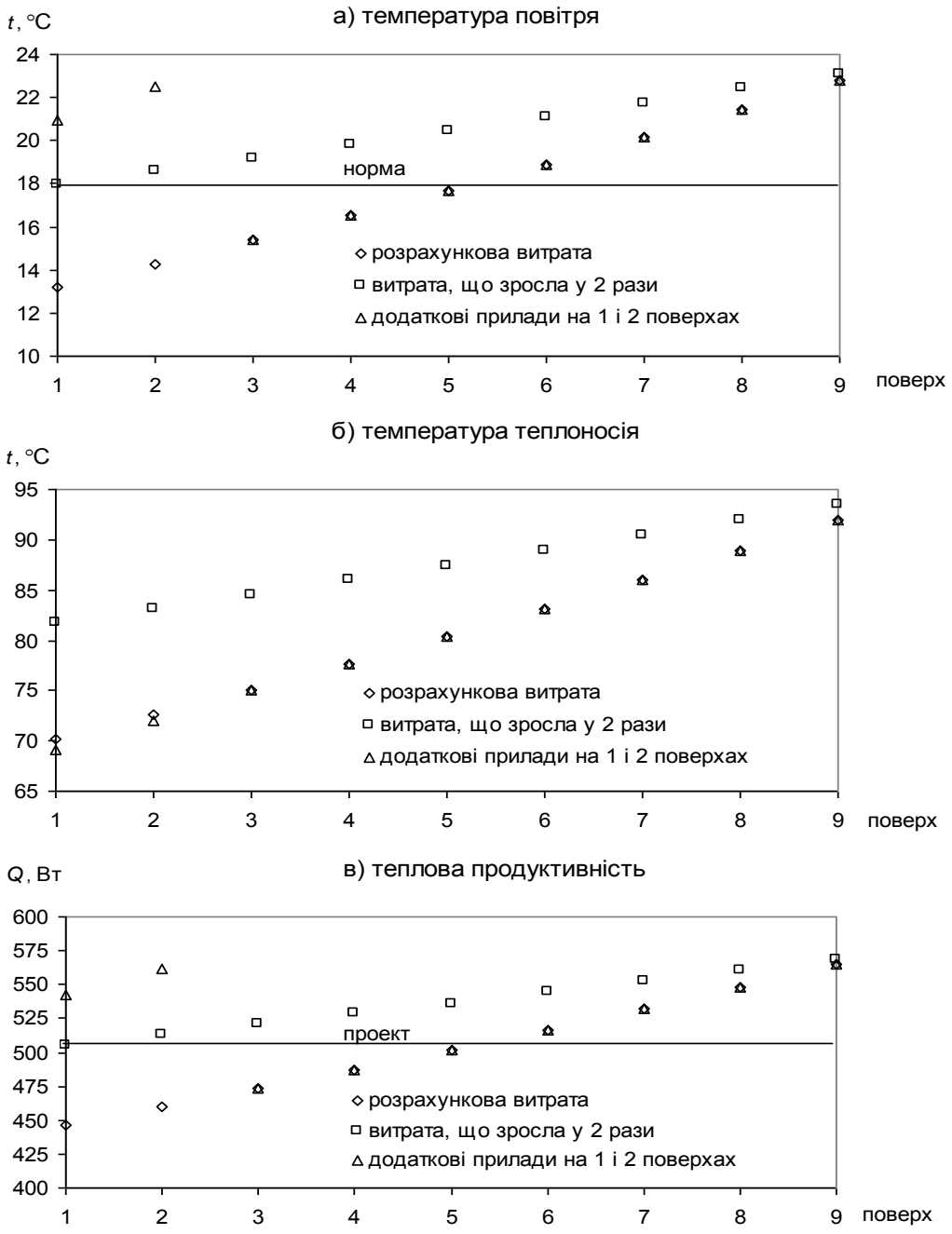



Рис. 4. Розподіл параметрів по поверхам стояка

Проведено математичне моделювання частково утепленої стіни огороджувальної конструкції з визначенням теплового потоку шляхом розв'язання тривимірного диференціального рівняння теплопровідності з завданням граничних умов II, III та IV роду та розподілом характеристик шару будівельних конструкцій та ізоляції. На рис. 5 приведений результат досліджень огороджувальної конструкції приміщення з вікном зі склопакету (має синій колір).

Проведено 2 варіанти розрахунку: коли всі суміжні приміщення утеплені (рис. 5 а), та коли утеплена тільки стіна, яка розглядається (рис. 5 б).

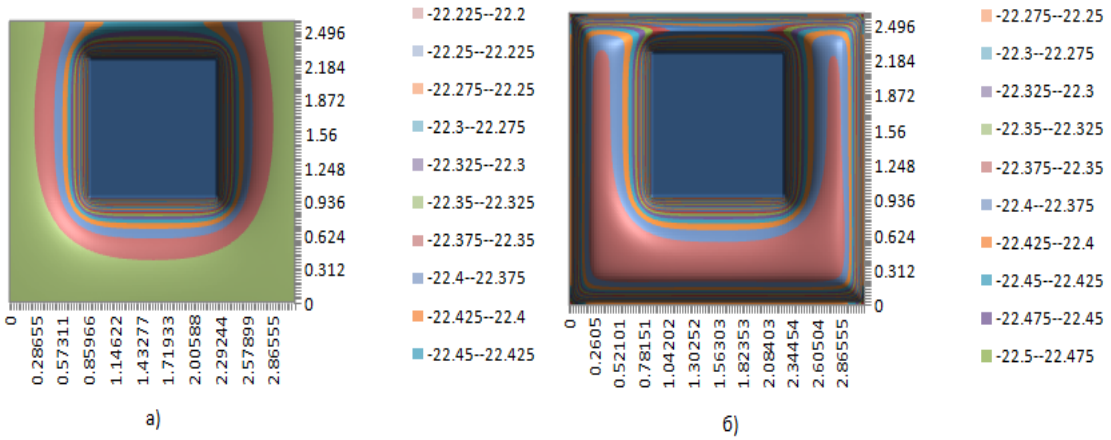



Рис. 5. Результати моделювання розподілу температур

У результаті збільшення теплового потоку (коефіцієнту теплопередачі $k$ порівняно з $k'$ у формулі (6) через стіну у варіанті б) порівняно з варіантом а) склало 11 %, а порівняно з одновимірним розрахунком (без врахування склопакету) – у 2 рази.

У подальшому згідно раніше розглянутій методиці розраховується перерозподіл внутрішньої температури у приміщеннях будинку та теплова ефективність всієї огороджувальної конструкції.

**Висновок.** Створено уточнену методику для визначення фактичної теплової продуктивності опалювальних приладів і системи опалення будівлі в цілому з урахуванням нерівномірності розподілу параметрів теплоносія і внутрішнього повітря, а також здійснених переробок та несистемних утеплень. За допомогою розробленої методики при проведенні енергетичного обстеження системи теплопостачання можна визначити теплову продуктивність систем опалення, виявити місця і рівень перевитрати теплоти і неякісної її відпуску, а також виробити рекомендації з модернізації. Після деяких доробок можна врахувати й інші фактори: тепловіддачу від стояків усередину приміщень, порушення гідравлічного режиму в результаті переробок та ін.

Таким чином, використання розроблених методик та комплексів алгоритмів допоможе більш точно розраховувати системи опалення на етапі проектування, визначити ефективність і перевитрати теплової енергії в процесі експлуатації та зменшити їх, розробити рекомендації з поліпшення забезпечення тепловою енергією споживачів.

**Список використаних джерел**

1. Наладка и эксплуатация водяных тепловых сетей: справочник / *В. И. Манюк* и др. Москва: Стройиздат, 1988. 432 с.
2. *Соколов Е. Я.* Теплофикация и тепловые сети. Москва–Ленинград: Госэнергоиздат, 1963. 360 с.
3. *Щекин Р. В., Березовский В.А., Потапов В. А.* Расчет систем центрального отопления. Киев: Висшая школа, 1975. 214 с.
4. Теплотехнический справочник: в 2 т. / под ред. В. Н. Юренева, П. Д. Лебедева. Москва: Энергия, 1975. Т. 1. 744 с.
5. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника / под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. Москва: Энергоатомиздат, 1983. 552 с.
6. *Ганжа А. М., Марченко Н. А.* Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах. *Вестник Национального технического университета "Харьковский политехнический институт».* Харьков, 2010. № 9. С. 113–120.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ МНОГОЭТАЖНЫХ ЖИЛЫХ ДОМОВ С УЧЕТОМ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ПОДВОДА ТЕПЛОТЫ К ПОМЕЩЕНИЯМ И НЕСИСТЕМНОЙ УТЕПЛЕННЫЕ

**Ганжа А. Н., Марченко Н. А., Семененко Л. В.**

***Аннотация*** - разработана уточненная методика для определения фактической тепловой производительности, эффективности отопительных приборов, системы отопления многоэтажного дома в целом с учетом неравномерности распределения параметров теплоносителя и внутреннего воздуха, а также совершенных переделок и несистемных утеплений. Проведен анализ эффективности системы теплоснабжения здания с учетом фактического состояния системы отопления и ограждающих конструкций. Использование разработанных методик и комплексов алгоритмов поможет более точно рассчитывать системы отопления на этапе проектирования, определить эффективность и перерасхода тепловой энергии в процессе эксплуатации и уменьшить их, разработать рекомендации по улучшению обеспечения тепловой энергией потребителей.

***Ключевые слова:*** теплоснабжение, отопление, многоэтажный дом, утепление, эффективность.

# DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY OF THE MULTIPURPOSE HOUSING BUILDING WITH ACCOUNTING OF INVERMALITY OF HEAT CONDUCT TO PREMISES AND UNCERTAINTY FIXTURES

**A. Ganzha, N. Marchenko, L. Semenenko**

***Summary***

The refined method of calculation of heat supply efficiency of a multistory building with the account of uncontrolled alterations of the heating system and non-system warming is developed.

The generalized calculation scheme of the heating device is made, which corresponds to the generalized scheme of the discrete calculation of a complex multi-heat exchanger with a mixed flow. In this case, the dimensionless thermal performance of the heating device is calculated not by the empirical dependence, but on the created algorithm of discrete calculation. The system of equations additionally includes the connection between the calculated and actual thermal loads.

As a result, for each floor, the actual thermal performance of the heating device and the flow of circulating air through it are determined. With these parameters, the actual air temperature at the outlet from the heating device and inside the room, the temperature of the coolant at the outlet is determined. The starting data is the flow and temperature of the coolant at the inlet to the heating system from the temperature graph, the temperature of the outside air, the equivalent square meter of the heating device on each floor. The thermal performance of the entire system is defined as the sum of the performance of all devices.

The mathematical modeling of the partially insulated wall of the enclosing structure with the determination of the heat flow by solving the three-dimensional differential equation of heat conduction with the task of the boundary conditions of the II, III and IV genera and the distribution of the characteristics of the layer of building structures and insulation is carried out. As a result, an increase in the heat flow is calculated. In the future, the redistribution of internal temperature in the premises of the house and the thermal efficiency of the entire enclosure structure is calculated.

**Summary of article.** The use of developed techniques and algorithm complexes will help to more accurately calculate heating systems at the design stage, to determine the efficiency and over-consumption of thermal energy during operation and to reduce them, to develop recommendations for improving the provision of thermal energy for consumers.

***Keywords:*** heat supply, heating, multistory building, insulation, efficiency

**УДК 62-634.5** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-12**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ВИПАРЮВАННЯ ВОДИ З КАСТОРОВОЇ ОЛІЇ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ БАГАТОЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ

**Назаренко І. П., д.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-6365-6777**
**Діденко О. В., аспірант***
**Кушлик Р. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-7560-9406**
**Дубініна С. В., інженер** **https://orcid.org/0000-0002-2029-8989**
*Таврійський державний агротехнологічний університет,*
E-mail: igornazarenko01@gmail.com

***Анотація*** – наведено результати експериментальних досліджень процесу випарювання води з емульсії "вода в касторовій олії" в електричному полі, яке створюється електродною системою циліндричних електродів. В експериментальних дослідженнях на електроди подавалась змінна висока напруга, при якій відбувався процес діелектрофорезу та випарювання води з олії.

На підставі експерименту було отримано залежності часу випарювання води з олії при різному вмісту води від діаметру електродів. Результати досліджень дозволяють визначити час процесу діелектрофорезу та випарювання води з касторової олії при використанні електродів різних діаметрів.

***Ключові слова:*** касторова олія, вода, емульсія, електричне поле, електрод, випарювання, напруга, температура.

**Постановка проблеми.** Одним з методів очищення касторової олії є додавання до неї води з метою гідратації домішок, фосфатидів та інших речовин, а потім видалення цих домішок механічним або іншими методами. Особливе значення є видалення остатків вологи після гідратації. Волога суттєво погіршує діелектричні показники якості касторової олії, при яких стає неможливим використання олії в електротехнічній промисловості. Тому очищення касторової олії від домішок та води є важливою господарською та науковою проблемою [1].

Діаметр електродів в системі очищення олії та випарювання води впливає на час протікання технологічного процесу електроочищення та якість готового продукту.

**Аналіз останніх досліджень.** Одним з різновидів рослинної олії є касторова олія. Касторова олія є одним з основних видів олій, які не висихають. Її широко застосовують в лакофарбовій промисловості, кабельних покриттях, парфумерії, при виробництві пластмас та металообробці. [2]

© Назаренко І. П., Діденко О. В., Кушлик Р. В., Дубініна С. В.
* Науковий керівник - Назаренко І. П., д.т.н., професор

В останній час касторову олію широко використовують в електротехнічній, авіаційній та поліграфічній промисловості. Касторова олія є унікальна за своїм хімічним складом в якому на рицинолеву кислоту приходиться до 90% і більш усіх жирових кислот, тому вона уявляє собою важливу стратегічну сировину. Велике застосування касторова олія знайшла в машинобудуванні, хімічній промисловості, медицині, радіоєлектрониці, косметології та інших галузях народного господарства.

Діелектричні властивості касторової олії дозволяють використовувати її в якості рідкого діелектрика при пропитці ізолюючого паперу,при виробництві кабелів та інших виробів. Разом з тим, якість готової касторової олії не завжди задовольняє вимогам ГОСТ 6757-96 «Олія касторова технічна», або ГОСТ 18102-95 «Олія касторова медична» з фізико-хімічномих показників. Все це спонукає розробників до пошуків нових засобів отримання та очищення олії. [3]

Процес очищення рослинних олій спрямований на видалення домішок, які переходять з сировини в олію в процесі пресування речовини. До домішок відносяться частки мезги та жиру, мінеральні, гідратовані фосфоліпіди та інші. [7]

Серед відомих методів очищення рослинних олій, таких як відстоювання, фільтрування, центрифугування, гідратація та інші можна виділити очищення діелектричних олій в електричному полі багато електродних систем. [4,5,6]. При цьому способі очищення на електродах, під дією електрофоретичної сили та тепла [8] утворюються парогазові бульбашки, які рухаються на поверхню рідини разом з домішками, а потім видаляються механічними або іншими способами. Головними умовами стійкого протікання процесу електроочищення є висока напруга на електродах (до 5 кВ), підвищена температура олії (60-80$^0$С), додавання до олії 1,5 – 2% води [1], геометричні параметри систем електродів.

**Мета досліджень.** Обгрунтування конструктивних параметрів електродної системи, зокрема величини діаметрів електродів, та технічних параметрів часу випарювання при проведенні процесу очищення та випарювання.

**Основні матеріали дослідження.** В ході експериментальних досліджень було використано очищену медичну касторову олію з вмістом води 1, 1,5 та 2%.

Експериментальні дослідження проводились на лабораторній установці (рис. 1), яка складалась з пристрою змінної високої напруги – підвищувальний трансформатор ТСВЗ – 1020 та лабораторного автотрансформатора для регулювання напруги, камери об’ємом 500 см$^3$ та джерела низької напруги (до 5 В) – підігрівача олії, який являє собою проволочений провідник з високоомної сталі, укладений на дні

камери і екранований металевою сіткою. Ретельно перемішана емульсія (вода в олії вмістом 1, 1,5 та 2%) почергово готувалась змішувачем Homogtnizer MPV-302 протягом 1 хвилини та заливалась до камери. За допомогою низьковольтного підігрівача рідина підігрівалась до температури $70^0$С. Температура вимірювалась за допомогою ртутного термометра та підтримувалась електронагрівачем на цій позначці на протязі всього експерименту.

Для проведення експерименту було виготовлено електродну систему з стальних стрижнів діаметром 4мм, 3 мм, 2 мм та 1,2 мм загальною довжиною електродів – 1м, відстанню між електродами – 1 см, які почергово використовувались в ході експерименту.

В ході експерименту на електроди подавалась змінна висока напруга, при якій відбувався процес діелектрофорезу та випарювання води з олії. Кінцевим показником випарювання була прозора чиста олія. Час випарювання при використанні різних діаметрів електродів фіксувався секундоміром. Напруга, яка подавалася на електроди у всіх трьох експериментах, складала 4,5 кВ та вимірювалась електростатичним вольтметром С-196.

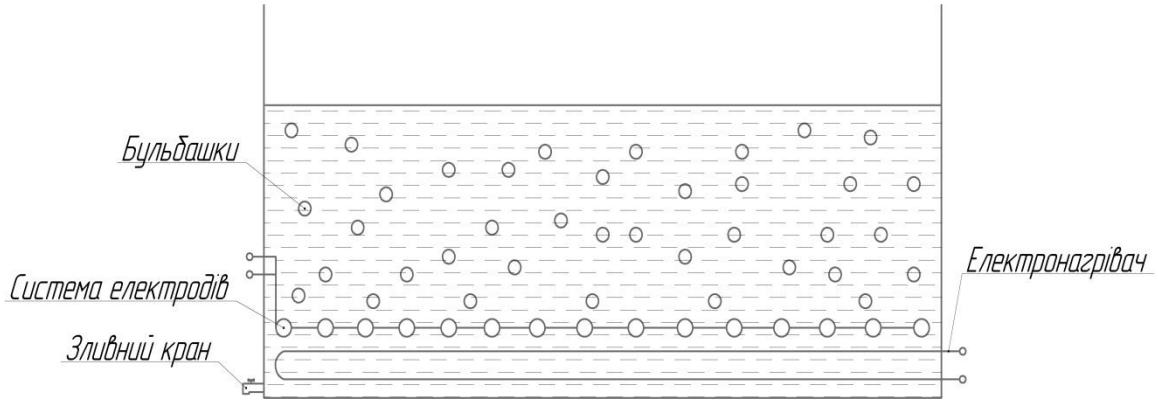



Рис. 1. Камера обробки емульсії «вода в олії» в електричному полі великої напруженості

На підставі експерименту було отримано та зафіксовано залежності часу випарювання води з олії при вмісту води 1, 1,5 та 2% від діаметрів вибраних електродів при напрузі на електродах 4,5 кВ.

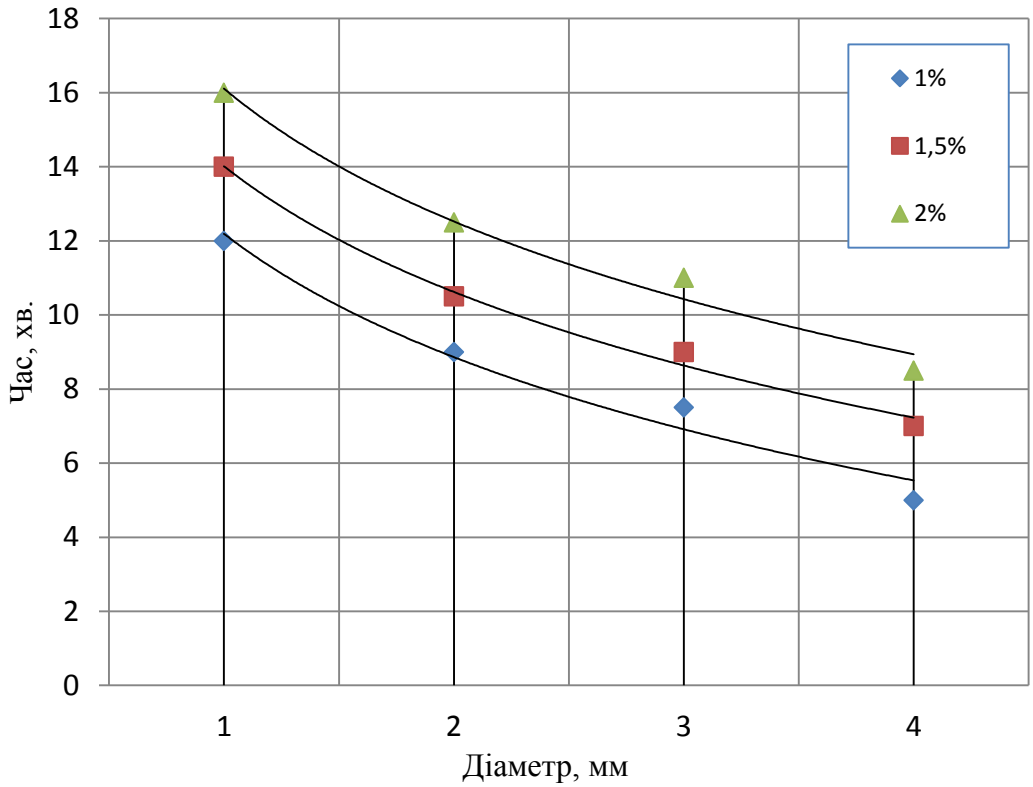



Рисунок 2. Залежності часу випарювання води з олії від діаметру електродів

Аналіз отриманих залежностей показує, що у всіх трьох емульсіях з різним вмістом води при однакових температури емульсії та напруги на електродах, час випарювання найменший при використанні електродів діаметром 4 мм. Це можна пояснити збільшенням тепловиділення за законом Джоуля – Ленца завдяки збільшенню струму, що протікає між електродами. Процес утворення бульбашок на електродах діаметром 1,2 проходить локально, що неприпустимо для якісного очищення.

**Висновки**

Результати досліджень дозволяють визначити час процесу електрофлотації та випарювання води з касторової олії при використанні електродів різних діаметрів.

**Список літератури**

1. Дідур В.В., Дідур В.А., Назаренко І.П., Назарова О.П., Діденко О.В. Моделювання процесу очищення пресової касторової олії методом флотації/ Machinery& Energetics. Jornal of Rural Production Research. Kyiv. Ukraine. 2018, Vol. 9, No. 3, 91-96 https://doi.org/10.31548/me2018.03.091

2. Болога М. К. Исследование процесса очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в постоянном электрическом поле / М. К. Болога [и др.] // Электронная обработка материалов. - 2001. - № 5. - С. 34-39.
3. ГОСТ 6757-96 Масло касторовое техническое. Технические условия. -1996 г.
4. Проскуряков В.А., Шмидт Л.И. Очистка сточных вод в химическо промышленности.- Изд-во «Химия».-1977.- 463 с.
5. Месеняшин А.И. Электрическая сепарация в силових полях.- М.: Недра, 1978.- С.175.
6. Берил И. И. Электросепарация фосфатидов подсолнечного масла / И. И. Берил, М. К. Болога // Электронная обработка материалов. - 1994. - №6. - С. 60-63.
7. С.А. Нагорнов, Д.С.Дворецкий, С.В.Романов /Техніка та технології виробництва та переробки рослинних олій/ м.Тамбов 2010г. ГО ВПО ТГТУ.
8. Назаренко І. П. Теоретичні дослідження взаємодії електричного поля з діелектричними суспензіями в багатоелектродних системах / І. П. Назаренко // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету: наук. фах. видання / ТДАТУ.- Мелітополь, 2012. - Вип. 12, т. 1. - С. 35-45.
9. К теории очистки диэлектрических жидкостей от механической примеси в постоянном электрическом поле / Ф. П. Гросу [и др.] // Электронная обработка материалов. - 2001. - № 6. - с.35-40.
10. Патент України № 127279. Спосіб очищення рослинної олії. Дідур В.В., Діденко О.В., Дідур В.А., Левченко Д.В.: Заявник та власник Таврійський державний агротехнологічний університет.-U201801594. заяв.19.02.2018, опубл. 25.07.2018, Бюл. №4.
11. Болога М. К. Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле: монография / М. К. Болога, И. И. Берилл ; АН Республики Молдова, Институт прикладной физики. - Молдова: Stinta, 2004.- 214 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫПАРИВАНИЯ ВОДЫ ИЗ КАСТОРОВОГО МАСЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ МНОГОЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ

**Назаренко И. П., Диденко А. В., Кушлык Р. В., Дубинина С. В.**

***Аннотация*** - приведены результаты экспериментальных исследований процесса выпаривания воды из эмульсии "вода в касторовом масле" в электрическом поле, которое создается электродной системой цилиндрических электродов.

В экспериментальных исследованиях на электроды подавалась переменная высокое напряжение, при которой происходил процесс диелектрофорезу и выпаривания воды из масла.

На основании эксперимента было получено зависимости времени выпаривания воды из масла при различном содержания воды от диаметра электродов.

Результаты исследований позволяют определить время процесса диелектрофорезу и выпаривания воды из касторового масла при использовании электродов различных диаметров.

***Ключевые слова:*** касторовое масло, вода, эмульсия, электрическое поле, электрод, выпаривания, напряжение, температура.

## STUDYING THE PROCESS OF WATER EVAPORATION WITH OF CASTOR OIL IN ELECTRIC FIELD OF MULTI-ELECTRODE SYSTEMS

**I. Nazarenko, A. Didenko, R. Kushlyk S. Dubinina**

***Summary***

The results of experimental studies of the process of evaporation of water from the emulsion "water in castor oil" in the electric field are given. For the experiment, an electrode system was made of steel rods with diameters of 4 mm, 3 mm, 2 mm and 1.2 mm, with a total length of electrodes of 1 m, a distance between electrodes of 1 cm, which were alternately used during the experiment.

In the course of the experiment, the high-voltage variable voltage was applied to the electrodes, during which the process of the dielectrophoresis and the evaporation of water from the oil took place. The final indicator of evaporation was clear, pure oil. The evaporation time when using different diameters of the electrodes was fixed by a stopwatch. The voltage applied to the electrodes in all three experiments was 4.5 kV and was measured by an electrostatic voltmeter C-196.

On the basis of the experiment, we obtained the dependences of the time of evaporation of water from oil at a water content of 1, 1.5 and 2% of the diameters of the selected electrodes at a voltage of 4.5 kV electrodes.

The analysis of the obtained dependences shows that in all three emulsions with different water content at the same temperature of the emulsion and the voltage on the electrodes, the time of evaporation is the smallest when using electrodes with a diameter of 4 mm. This can be explained by an increase in the heat emission by the Joule-Lenz law due to an increase in the current flowing between the electrodes. The process of bubble formation on electrodes of diameter 1.2 passes locally, which is inadmissible for qualitative cleaning.

The results of studies allow to determine the time of the process of electrophoresis and evaporation of water from castor oil using electrodes of various diameters.

***Key words:*** castor oil, water, emulsion, electric field, electrode, evaporation, voltage, temperature.

**УДК 631.53.027.34:633.11 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-13**

# ПЕРЕДПОСІВНА СТИМУЛЯЦІЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ ОПТИЧНИМ ВИПРОМІНЮВАННЯМ

**Червінський Л. С., д. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-7215-2474**
**Пашковська Н. І.,** аспірант*
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
E-mail: lchervinsky@gmail.com

***Анотація*** **–** дослідження спрямоване на виявлення впливу передпосівної обробки інфрачервоним випромінюванням на схожість та енергію проростання насіння озимої пшениці в лабораторних умовах.

Аналіз результатів показав, що передпосівна обробка насіння озимої пшениці інфрачервоним випромінюванням значно впливає на посівні характеристики насіння. Встановлено, що показник енергії проростання насіння пшениці обробленої інфрачервоним випромінюванням в цілому перевищує показник насіння, обробленого хімічними. За проведеними експериментальними дослідженнями, можна зробити висновки, що передпосівна обробка насіння озимої пшениці інфрачервоним випромінюванням покращує посівні якості та стимулює ростові показники проростків.

***Ключові слова:*** передпосівна обробка насіння, інфрачервоне опромінення, посівні якості.

**Постановка проблеми.** Урожайність сільськогосподарських культур залежить від багатьох факторів, а саме: агрокліматичних умов вирощування, умов зберігання та посівних кондицій насіння, якісних характеристик ґрунту в процесі вирощування рослин до отримання їх продукції. Впровадження екологічних напрямків підвищення врожайності, зокрема ефективної екологічно чистої передпосівної обробки насіння сільськогосподарських культур є найголовнішим питанням в розвитку економічної незалежності України.

**Аналіз останніх досліджень.**

Найбільш поширеними для покращення посівних якостей та підвищення енергії проростання насіння у світі впроваджені хімічні способи активації насіння. Але вони є досить фінансово затратними і навіть шкідливими для екологічного стану навколишнього середовища. В той же час починають впроваджувати екологічно чисті методи передпосівної стимуляції насіння, зокрема, енергетична

© Червінський Л. С., Пашковська Н. І.

* Науковий керівник - Червінський Л. С., д. т. н., професор

стимуляція оптичним випромінюванням різного спектрального складу [3-6]. Наприклад, стимуляція насіння монохроматичним когерентним лазерним випромінюванням дозволяє підвищити схожість і енергію росту в межах 20% і, як наслідок, одержати прибавку врожаю на 11−12 % [7]. Стимуляцію інфрачервоним випромінювання можна віднести як до фотоенергетичних, так і до теплових методів обробки, оскільки промені цього діапазону (0,8 …2,0 мкм) мають високу проникну здатність і спричиняють структурне прогрівання насіння. Позитивним ефектом від такої обробки є підвищення схожості й енергії росту на початкових етапах розвитку рослин понад 11% [9]. Набуло широкого впровадження, особливо в умовах закритого ґрунту, ультрафіолетове опромінення насіння і рослин. [8].

**Формулювання цілей статті.** Дослідити на насінні озимої пшениці ефективність впливу передпосівної обробки інфрачервоним випромінюванням на схожість та енергію проростання насіння в лабораторних умовах. Вивчити вплив передпосівної обробки інфрачервоним випромінюванням від спеціального джерела інфрачервоного випромінювання на схожість та динаміку проростання насіння озимої пшениці. Зокрема , з дослідженням динаміки росту .

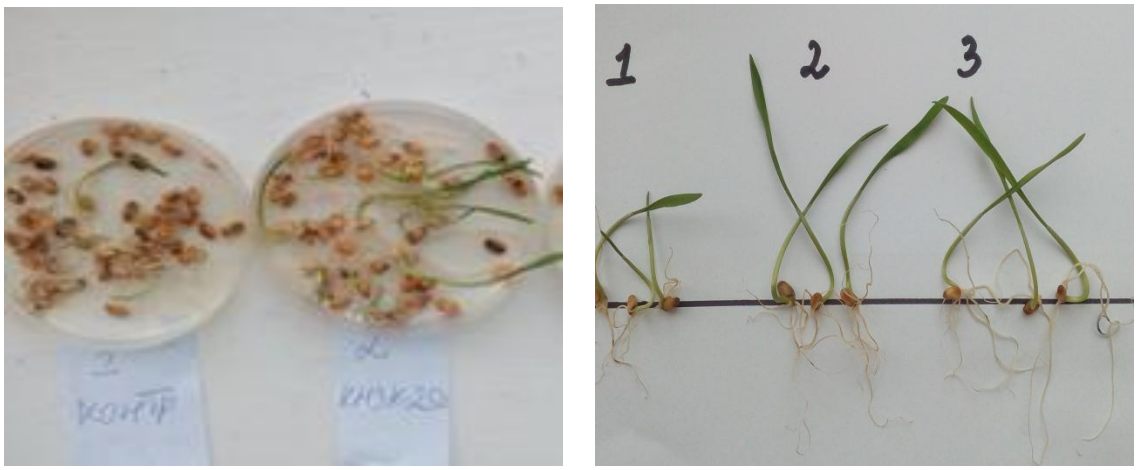
**Основні матеріали дослідження**. Насіння озимої пшениці виробництва «Секобра речерс» опромінювали інфрачервоним випромінюванням лампи ИКЗК -250 на відстані 2 см від лампи, протягом різних проміжків часу: від 30 сек до 2 хв. Після чого у відповідності до методики за ДСТУ 4138 – 2002 вивчали енергію проростання, схожість насіння та ростові параметри проростків насіння протягом терміну. Для визначення схожості та енергії проростання у кожному досліді з партії насіння відбирали проби у чотирьох повторностях по 100 насінин. Кожну пробу насіння розкладали на змочений фільтрувальний папір, укладений на дно ростильні – чашки Петрі і ставили у термостат для проростання насіння у відповідному кліматичному середовищі. У термостаті підтримувалась постійна вологість фільтрувального паперу у кожній чашці і температура на рівні 20 °С.

Схожість насіння різних культур визначають через певний період перебування в термостаті. Насіння пшениці визначають, згідно методики через 7 днів. Проростим вважається таке насіння, в якого нормально розвинені проросток і коріння, а головний корінець не коротший за довжину насінини. У непроростого насіння корінці недорозвинені або їх немає чи вони загнилі, а проросток у вигляді одного стебельця або його немає. Кількість пророслих насінин у 100-

насіннєвій пробі і визначає схожість насіння в процентах. З чотирьох повторностей виводять середній показник, який і буде характеризувати певний варіант (партію) насіння [1].

Зразок чашки Петрі з пророщуваним насінням показано на рис.1.

Одночасно з лабораторною схожістю визначають енергію проростання насіння – здатність його до швидкого і дружного проростання (ДСТУ 2949-94, с.15). Причому, насінини, які проростають першими, мають вищу життєву силу й формують більш продуктивне потомство, ніж ті, що сходять пізніше. Довжину проростків вимірюють, відповідно, верхню і нижню частини проростків спеціальною лінійкою з міліметровими поділками [2].




а) б)

Рис. 1. Дослідження енергії проростання та схожості насіння озимої пшениці: а) дослідження енергії проростання, б) дослідження впливу різної дози опромінення на ростові показники

Вивчення впливу інфрачервоного опромінювання на біометричні показники проростків пшениці озимої здійснювали на 7 день. Узагальнюючі результати дослідження стимуляційного впливу інфрачервоним випромінюванням різної тривалості і, відповідно, різної дози опромінення приведено в таблиці 1.

Аналіз результатів, приведених в таблиці показує, що передпосівна обробка насіння озимої пшениці інфрачервоним випромінюванням значно впливає на посівні характеристики насіння. Зокрема встановлено, що показник енергії проростання насіння пшениці обробленої інфрачервоним випромінюванням протягом 30, 45, 60 сек , 120 сек в цілому перевищує показник насіння, обробленого хімічними засобами (еталон) на 2, 7,3, 4,7% та 3,3% відповідно. Причому, максимум ефективності обробки

спостерігається при тривалості обробки 45 сек. Схожість насіння пшениці обробленому хімічними засобами становила 96,7%, тоді як в необробленого 96%. Аналізуючи режими обробки видно, що в проміжку від 45 до 60 сек даний показник зріс до 100% відповідно, що підтверджує високий стимулюючий ефект передпосівної обробки в даному періоді часу. Найкраще стимулювала показники енергії проростання та схожості насіння пшениці передпосівна обробка ІЧО протягом 45 та 60 секунд.

Таблиця 1

**Вплив інфрачервоного опромінення на посівні якості насіння озимої пшениці виробництва «Секобра речерс»**

| Варіанти | Енергія проростання,% | Схожість насіння,% |
|---|---|---|
| Насіння хімоброблене (еталон) | 90,0 | 96,7 |
| Необроблене насіння | 88,0 | 96,0 |
| 30 сек ІЧ опромінення | 92,0 | 94,7 |
| 45 сек ІЧ опромінення | 97,3 | 100,0 |
| 60 сек ІЧ опромінення | 94,7 | 99,3 |
| 2 хв ІЧ опромінення | 93,3 | 97,3 |

Результати дослідження ростових показників обробленого насіння приведено в таблиці 2.

Таблиця 2

**Вплив інфрачервоного опромінення на ростові показники насіння озимої пшениці**

| Варіант | Довжина підземної частини проростка, см | Довжина надземної частини проростка, см |
|---|---|---|
| Насіння хімоброблене (еталон) | 7,2 | 7,5 |
| Необроблене насіння | 4,1 | 4,3 |
| 30 сек ІЧ опромінення | 7,4 | 8,2 |
| 45 сек ІЧ опромінення | 13,7 | 10,1 |
| 60 сек ІЧ опромінення | 13,8 | 10,3 |
| 2 хв ІЧ опромінення | 7,1 | 6,1 |

Аналіз результатів, приведених в таблиці 2, дозволяє стверджувати, що найвищу стимуляційну дію також було відмічено при обробці насіння інфрачервоним випромінюванням протягом 45 та

60 секунд. Довжини підземної частин проростків зросли відповідно на 6,5 та 6,6 см порівняно з еталоном, надземної – на 2,6 та 2,8 см. Тобто і даними результатами підтверджена найвища ефективність передпосівної обробки насіння озимої пшениці інфрачервоним випромінюванням спеціальної лампи типу ИКЗК- 250 протягом 45….60сек.

**Висновок.** Згідно проведених експериментальних досліджень, можна зробити висновки, що передпосівна обробка насіння озимої пшениці інфрачервоним випромінюванням лампи ИКЗК-250 покращує посівні якості та стимулює ростові показники проростків. Найвищі показники енергії проростання та схожості насіння було відмічено за обробки насіння ІЧ випромінюванням протягом 45 сек та 60сек. Дані показники становили 97,3 та 100% відповідно. Найвищі ростові параметри відзначалися за дії протягом 60 сек., надземна частина проростка зросла на 37,3% порівняно з еталоном, а підземна – 91,7%. Отримані результати свідчать про перспективність передпосівної обробки насіння озимої пшениці оптичним випромінюванням різного спектрального складу. Наприклад, ультрафіолетового, інфрачервоного та їх комбінації.

**Список використаних джерел**

1. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. [Чинний від 2002 - 12-28]. Київ: Держспожив стандарт України, 2003. 170 с.
2. *Грицаенко З. М., Грицаенко А. О., Карпенко В. П.* Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ, 2003. 20 с.
3. *Девятков Н. Д.* Источники когерентного излучения и некоторые возможности его действия на жизнедеятельность растений. *Проблемы фотоэнергетики растений*. Кишинев: Штиинца, 1974. С. 81-82.
4. *Деркач М. П.* Основи біофізики. Львів, 1967. 278 с.
5. *Червінський Л. С., Романенко О. І.* Результати пошукових досліджень комбінованого опромінювання насіння. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2012. Вип. 174(2). С. 206-209.
6. *Червінський Л. С., Пашковська Н. І.* Дослідження впливу інфрачервоного випромінювання на посівні якості та ростові

показники озимої пшениці. *Вісник ХНТУСГ*. Харків, 2018. Вип. 195. С.119-121.

7. *Вельский А. И.* Применение лазерного излучения в растениеводстве. *Сборник трудов Сумского государственого аграрного университета*. Сумы, 1996. С. 67−68.

8. *Дубров А. П.* Действие ультрафиолетовой радиации на растения. Москва: Изд–во АН СССР, 1963. 124 с.

9. *Алтухов И. В., Федотов В. А.* Воздействие ИК-излучения различных длин волн на семена пшеницы. *Ползуновский вестник.* 2011. № 2/1. С. 156-159.

10. Ультрафиолетовое облучение семян / *И. И. Булавас* и др. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1969. № 5. С. 26-28.

## ПРЕДПОСЕВНАЯ СТИМУЛЯЦИЯ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ ОПТИЧЕСКИМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

**Червинский Л. С., Пашковская Н. И.**

***Аннотация*** – исследование направлено на определение влияния предпосевной обработки инфракрасным излучением на всхожесть и энергию прорастания семян озимой пшеницы в лабораторных условиях.

Анализ результатов показал, что предпосевная обработка семян озимой пшеницы инфракрасным излучением значительно влияет на посевные характеристики семян. Установлено, что показатель энергии прорастания семян пшеницы обработанной инфракрасным излучением в целом превышает показатель семян, обработанных химическими.

Согласно проведенных экспериментальных исследований, можно сделать выводы, что предпосевная обработка семян озимой пшеницы инфракрасным излучением улучшает посевные качества и стимулирует ростовые показатели проростков.

***Ключевые слова:*** предпосевная обработка семян, инфракрасное облучение, посевные качества.

## PREVENTION OF OPTICAL RADIATION OF WINTER WHEY STIMULATION

**L. Chervinsky, N. Pashkovkaya**

***Summary***

The yield of agricultural crops depends on many factors, namely: agro-climatic conditions of cultivation, storage conditions and seed crops conditions, qualitative characteristics of the soil in the process of growing plants before receiving their products. Introduction of ecological directions of increase of productivity, in particular,

effective ecological prenatal processing of seeds of agricultural crops, is the most important issue in the development of economic independence of Ukraine.

The research is aimed at detecting the influence of pre-sowing treatment with infrared radiation on the similarity and energy of germination of winter wheat seeds under laboratory conditions.

The seeds of winter wheat were irradiated with infrared radiation at a fixed distance from the source, during different periods of time. Subsequently, in accordance with the standard method, the germination energy, seed germination and growth parameters of seedlings were determined.

The analysis of the results showed that pre-sowing processing of winter wheat seeds by infra-red radiation significantly affects the seed characteristics of the seeds. In particular, it was established that the rate of germination energy of wheat seed treated with infra-red radiation for 30, 45, 60 seconds, 120 seconds in general exceeds the indicator of seeds treated with chemical means (standard) by 2, 7,3, 4,7% and 3,3% in accordance.

According to the experimental studies, it can be concluded that pretreatment of winter wheat seeds by infrared radiation of the ИКЗК-250 lamp improves seed quality and stimulates growth of seedlings. The highest germination energy and seed similarity were observed for seed treatment with infrared radiation for 45 seconds and 60sec. These figures were 97.3% and 100% respectively. The highest growth parameters were observed for the duration of 60 seconds, the upper part of the sprout increased by 37.3% compared to the standard, and the underground - 91.7%. The obtained results testify to the promising pre-sowing processing of winter wheat seeds by optical radiation of different spectral composition. For example, ultraviolet, infrared and their combination.

***Key words***: pre-sowing seed treatment, infrared irradiation, sowing quality.

**УДК [631.158:658.53]:636 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-14**

# РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОВИТРАТ РУЧНОЇ ПРАЦІ В ТВАРИННИЦТВІ

**Чміль А. І., д. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-9148-3172**
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
*e-mail: a.chmil@ukr.net*

***Анотація*** - серед заходів з подальшого підвищення економічної ефективності виробництва тваринницької продукції важливе місце займають питання вдосконалення організації ручної праці обслуговуючого персоналу. Відомо, наприклад, що в середньому по Україні затрати праці на 1 ц приросту молодняка великої рогатої худоби складають 54 люд.-год, в той час як в передових тваринницьких комплексах вони складають 7-10 люд.-год.

У більшості випадків основним критерієм оцінки живої і оречевленої праці є час. Проте, при цьому не враховуються такі важливі властивості як тяжкість праці, інтенсивність праці, монотонність праці тощо. В то же час будь-який вид трудової діяльності пов'язаний з витратами фізичної і розумової енергії, а також психичним і емоційним напруженням. Ця обставина спонукала вчених виявити гранично допустиму величину витрат енергії при якій може бути допущена щоденно повторювана робота в таких умовах праці і з такою інтенсивністю виконання, яка не викличе у працівника явища зносу чи пошкодження. На основі запропонованої моделі розроблено алгоритм розрахунку енергетичних показників процесу роздачі замінника цільного молока, реалізований на ЕОМ. Аналіз отриманих результатів показує, що питомі енерговитрати при використанні установки КПГ-10 складають 21,84 кДж/гол, що на 22,6% менше, ніж при використанні установки УВТ-20, а це дозволяє збільшити навантаження на оператора з 120 до 180 голів.

***Ключові слова:*** енерговитрати, машинно-ручні операції, проектування машин.

**Постановка проблеми.** Серед заходів з подальшого підвищення економічної ефективності виробництва тваринницької продукції важливе місце займають питання вдосконалення організації ручної праці обслуговуючого персоналу. Відомо, наприклад, що в середньому по Україні затрати праці на 1 ц приросту молодняка великої рогатої худоби складають 54 люд.-год, в той час як в передових тваринницьких комплексах вони складають 7-10 люд.-год [1].

У більшості випадків основним критерієм оцінки живої і оречевленої праці є час. Проте, при цьому не враховуються такі важливі

© Чміль А. І.

властивості як тяжкість праці, інтенсивність праці, монотонність праці тощо. В то же час будь-який вид трудової діяльності пов'язаний з витратами фізичної і розумової енергії, а також психичним і емоційним напруженням. Але можливості м'язової сили, швидкість руху, реакція на ті чи інші явища, швидкість і точність сприйняття і переробки необхідної інформації в процесі трудової діяльності мають свої межі, за якими працездатність суб'єкта праці знижується і можуть відбутися функціональні зміни в організмі (втомлення, професійні захворювання і передчасне старіння). Ця обставина спонукала вчених виявити гранично допустиму величину витрат енергії при якій може бути допущена щоденно повторювана робота в таких умовах праці і з такою інтенсивністю виконання, яка не викличе у працівника явища зносу чи пошкодження.

**Аналіз останніх досліджень.** Енерговитрати людини на виконання продуктивної работи визначають експериментально методом непрямої калориметрії (газообміну). Нормативні енерговитрати організму протягом робочої зміни не повинні перевищувати 1046,7 кДж/год (250 ккал/год).

Відсутність врахування при проектуванні машини зв'язаних з нею компонентів, перш за все людину, предмети праці і джерела енергії, викликає невідповідність між нормативними і фактичними значеннями експлуатаційних показників створеного обладнання, що призводить до зміни його технічного рівня, якості і економічної ефективності, а в деяких випадках причиною виробничого травматизму і профзахворювань. Для попередження таких явищ необхідно здійснити перехід від проектування машин до проекування технічних систем, під якими розуміється сукупність засобів технологічного оснащення, предметів виробництва і виконавців для виконання в регламентованих умовах виробництва заданих технологічних процесів чи операцій. Якщо при проектуванні машини її енергетичні властивості не будуть у повній мірі погоджені з енергетичними властивостями предмету праці, людини і джерела енергії, то енергетичні процеси в технічних системах і її підсистемах не будуть відповідати оптимальним. Звідси випливає, що енергетичний підхід повинен застосовуватись до усіх компонентів техничної системи- людини, предметів праці, засобів праці і джерела енергії.

**Мета досліджень** – розробка моделі розрахунку енерговитрат машинно-ручного технологічного процесу в тваринництві.

**Основні матеріали дослідження**.Важливість енергетичного підходу до технічних систем полягає в тому, що лише завдяки енергетичним перетворенням стають можливими і матеріальні перетворення і являють сутність будь-якого технологічного процесу. Оскільки в енергетичних перетвореннях приймають участь всі компоненти технологічного процесу, то в цьому проявляється їх енергетична єдність.

При дослідженні енергетичних процесів, що протікають в технічних системах, введемо наступні допущення:

- людина розглядається в сукупності з їжою, що робить її джерелом, перетворювачем і передавачем енергії;
- фізична природа руйнування предмета праці від дії на нього енергії не розглядається;
- втрати енергії всередині джерела не розглядаються;
- енерговитрати людини на управління машиною не враховуються;
- в даному дослідженні приймаються до уваги лише витрати людської енергії, що пов'язані з виконанням фізичної трудової діяльності.

Розглянемо машино-ручний технологічний процес (рис.1), в якому важливе місце має кінематичний ланцюг 3, що передає енергію неживої природи предмету праці. Рівняння енергетичного балансу для цього ланцюга буде

$$\Delta E_{3нп} = \Delta E_4 + \Delta E_5 + \Delta E_м + \Delta E_{3min}, \quad (1)$$

де $\Delta E_{3нп}$ - енергія неживої природи витраченої на вдосконалення процесу;

$\Delta E_4$, $\Delta E_5$, $\Delta E_м$ - енергія неживої природи витраченої на розрушення речових елементів відповідно 4 і 5 зон взаємодії і машини;

$\Delta E_{3min}$- енергія неживої природи, що надходить по кінематичному ланцюгу 3 на зміну предмета праці.

Відомо, що в процесі взаємодії елементів технологічного процесу змінюється предмет праці за характерними ознаками, які складають основу поділу технологічного процесу на технологічні операції, а ті в свою чергу на технологічні переходи (закінчення частини технологічної операції).

З енергетичної точки зору найбільший інтерес представляють технологічні переходи і технологічні операції. Рівняння енергетичного балансу для ручної технологічної операції має вигляд

$$\Delta E_{л} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{1i} + \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{2i} + \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{\min i}\,, \qquad (2)$$

де $\Delta E_{1i}$, $\Delta E_{2i}$ - енергія людини, що витрачається на розрушення речових елементів і взаємодіють відповідно в 1 і 2 зонах при виконанні *i*-го переходу;

$\Delta E_{\min i}$ - мінімальна енергія, що необхідна для обробки предмету праці при виконанні *i*- го переходу.

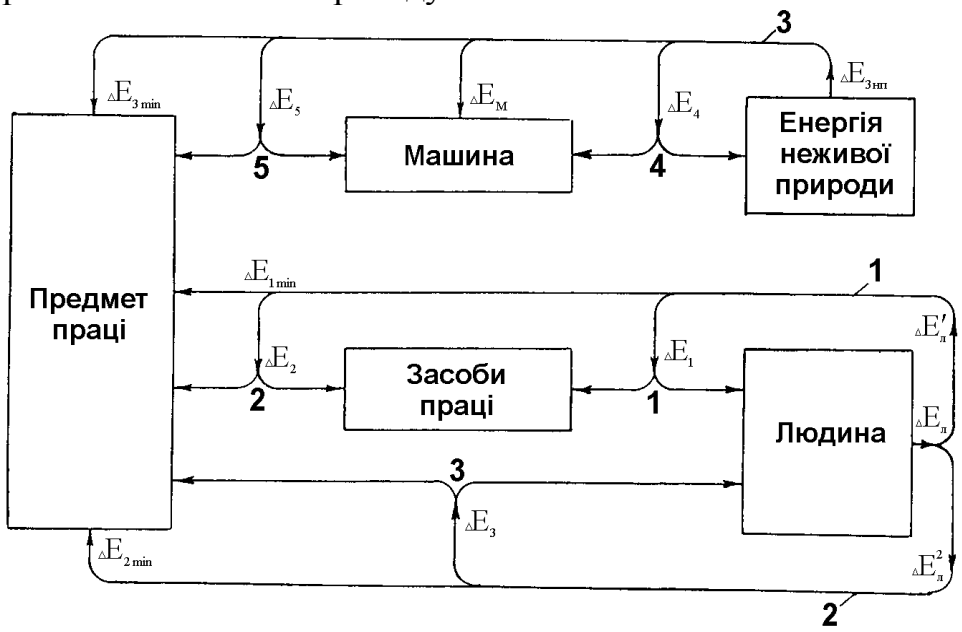



Рис. 1. Структурно-енергетична модель машинно-ручного технологічного процесу

Із структурно-енергетичних моделі видно, що не вся енергія джерел іде на виконання корисної роботи, а тільки частина-мінімальна енергія. Тому ступінь корисного використання енергії в технологічному процесі виразим як

$$\eta_{тп}^{р} = \Delta E_{min} / \Delta E_{л}\,, \qquad (3)$$

де $\eta_{тп}^{р}$ - енергетичний к.к.д. ручного технологічного процесу.

Оптимізація енерговитрат в системі "людина-машина" (СЛМ) розпочинається з визначення мінімальної енергії, необхідної для обробки предмету праці по переходах технологічної операції, яка називається корисною енергією. Її величина складається із мінімальної енергії і втрат енергії в зоні обробки і для ручної технологічної операції може бути представлена виразом

$$\sum_{i=1}^{n} \Delta E_{\text{під } i} = \Delta E_{\text{слм}}^{\text{ц}} = \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{\text{л } i} + \sum_{i=1}^{n} \Delta E_{\min i}, \quad (4)$$

де $\Delta E_{\text{під } i}$ - підведена енергія в зоні обробки предмета праці;

$\Delta E_{\text{слм}}^{\text{ц}}$ - корисна енергія СЛМ за цикл технологічної операції.

Корисні енерговитрати людини можна визначити за формулою

$$\Delta E_{\text{л } i} = P_{\text{л } i}\, t_{\text{л } i}, \quad (5)$$

де $P_{\text{л } i}$ - корисна потужність людини при виконанні *i*- го переходу;

$t_{\text{л } i}$ - час виконання людиною *i*- го переходу.

Корисна потужність людини залежить від категорії тяжкості робіт (легка робота I, середньої тяжкості IIа, IIб, важкі роботи III) і визначається згідно ГОСТ 12.1.005-76 .

Корисні енерговитрати машини, що приймає участь в технологічному процесі дорівнюють

$$\Delta E_{\text{м } j} = P_{\text{м } j}\, t_{\text{м } j}, \quad (6)$$

де $P_{\text{м } j}$ - корисна потужність при виконанні *j*- го переходу;

$t_{\text{м } j}$ - час виконання машиною *j*- го переходу.

Фактичні значення корисної потужності машини $P_{\text{м } j}^{\text{ф}}$ при виконанні *j*- го переходу можуть бути розраховані на основі даних вимірів в режимі навантаження і холостого ходу

$$P_{\text{м } j}^{\text{ф}} = \sum_{j=1}^{k} P_{\text{д } j}^{\text{н}} - \sum_{j=1}^{k} P_{\text{д j}}^{\text{хх}}, \quad (7)$$

де $P_{\text{д } j}^{\text{н}}$ - потужність *i*- го приводу машини в режимі навантаження при виконанні *j*- го переходу;

$P_{\text{д j}}^{\text{хх}}$ - потужність *i*- го привода машини в режимі холостого ходу при виконанні *j*- го переходу.

При одночасному виконанні переходу людиною і машиною корисні енерговитрати СЛМ визначаються за формулою

$$\Delta E_{\text{слм}} = \Delta E_{\text{л } i} + \Delta E_{\text{м } j}. \quad (8$$

Тоді за цикл технологічної операції корисні енерговитрати СЛМ будуть

$$\Delta E_{\text{слм}}^{\text{ц}} = \Delta E_{\text{л}}^{\text{ц}} + \Delta E_{\text{м}}^{\text{ц}}. \quad (9)$$

Розділивши рівняння (13) на кількість, наприклад, одночасно обслуговуваних тварин отримаємо питомі енерговитрати

$$\Delta E_{слм}^{пт} = \frac{\Delta E_{лц} + \Delta E_{мц}}{m_m} = \Delta E_{л}^{пт} + \Delta E_{м}^{пт}, \quad (10)$$

де $m_m$ - кількість одночасно обслуговуваних тварин.

Після формування вихідних енергетичних характеристик СЛМ і її компонентів можна визначити вихідні енергетичні характеристики.

Корисні енерговитрати машини на виконання машинного переходу будуть

$$\Delta E_{м}^{1}{}_{j} = \Delta E_{м\,j} / \eta_{м\,j}, \quad (11)$$

де $\eta_{м\,j}$ - к.к.д. машини при виконанні *j*- го переходу.

Аналогічним чином можуть бути розраховані повні енерговитрати людини

$$\Delta E_{л}^{1}{}_{i} = \Delta E_{л\,i} / \eta_{л\,i}, \quad (12)$$

де $\eta_{л\,i}$ - к.к.д. людини при виконанні *i*- го переходу.

Тоді питомі повні енерговитрати СЛМ будуть

$$\Delta E_{слм}^{1пт} = \frac{\Delta E_{лпт}}{\eta_{л}} + \frac{\Delta E_{мпт}}{\eta_{м}}. \quad (13)$$

З підвищенням рівня механізації процесу відбувається перерозподіл корисних енерговитрат між людиною і машиною, а загальна сума залишиться при цьому постійною. Але оскільки к.к.д. машини значно вищий к.к.д. людини, то за рахунок цього корисні енерговитрати підсистеми (операції) будуть більш низькі, ніж до її вдосконалення. Звідси витікає, що підвищення рівня механізації і автоматизації операцій ведуть до зниження енергоємкості продукції і підвищенню рівня енергетичної досконалості СЛМ.

На базі встановлених корисних і повних енерговитрат системи і її компонентів можна розрахувати їх к.к.д. за цикл технологічної операції

$$\eta_{слм}^{ц} = \frac{\Delta E_{слмц}}{\Delta E_{слм1ц}} = \frac{\Delta E_{лц} + \Delta E_{мц}}{\Delta E_{л1ц} + \Delta E_{м1ц}}. \quad (14)$$

Не менш важливим показником при оптимізації енерговитрат СЛМ є визначення питомої продуктивності технологічної операції

$$B_{слм} = \frac{m_{тц}}{T_{ц}}, \quad (15)$$

де $B_{слм}$- питома продуктивність системи за одиницю часу;

$T_{ц}$- цикл технологічної операції.

Оскільки енергетичні і загальноприйняті результати розрахунку ефективності взаємозв'язані, тому поряд з визначенням питомої продуктивності слід розрахувати енергетичну продуктивність системи за формулою

$$\Delta E_{слм}^{t} = B_{слм}^{t}\, \Delta E_{слм}^{пт} = B_{слм}^{t}(\Delta E_{л}^{пт} + \Delta E_{м}^{пт}) , \qquad (16)$$

де $\Delta E_{слм}^{t}$- енергетична продуктивність (корисні енерговитрати) системи за *t*- й проміжок часу;

$B_{слм}^{t}$- питома продуктивність операції за *t*- й проміжок часу.

Вираз (16) можна перетворити до вигляду

$$\Delta E_{слм}^{t} = \Delta E_{л}^{t} + \Delta Eм^{t} . \qquad (17)$$

За аналогією і повні енерговитрати можна виразити як

$$\Delta E_{слм}^{1t} = \Delta E_{л}^{1t} + \Delta E_{м}^{1t} \qquad (18)$$

Складову $\Delta E_{л}^{1t}$ в формулі (18) можна використати для контролю тяжкості праці людини, що функціонує в СЛМ

$$\Delta E_{л}^{1t} \le [\Delta E_{л}]^{t} , \qquad (19)$$

де $[\Delta E_{л}]^{t}$ - рівень гранично допустимих енерговитрат людини за *t*- й проміжок часу.

Виходячи з рівня гранично допустимих енерговитрат людини і необхідних на виробництво одиниці продукції витрат енергії людини, можна розрахувати граничну штучну продуктивність системи

$$[B_{слм}]^{t} = [\Delta E_{л}]^{t}\, n_{р} / \Delta E_{л}^{пт} , \qquad (20)$$

де $n_{р}$ - кількість працюючих, що приймають участь у виконанні операції.

Механізація і електрифікація технологічного процесу по суті означає заміну використання фізичної (мускульної), а автоматизація- фізичної і розумової енергії людини використанням енергії машинних компонентів системи. Для опису стану механізації і електрифікації живої праці можуть бути використані почасовий і енергетичний рівні механізації живої праці.

Почасовий рівень механізації живої праці в системі дорівнює

$$d_{слм} = t_{м}^{пт} / T^{пт} , \qquad (21)$$

де $t_{м}^{пт}$ - повний машинний час обробки предмета праці;

$T^{пт}$ - приведений час.

Енергетичний рівень механізації живої праці виразим

$$\Omega_{слм} = \Delta E_м^{пт} /(\Delta E_л^{пт} + \Delta E_м^{пт}) . \quad (22)$$

На основі запропонованої моделі проведено оцінку енерговитрат ручної праці на прикладі найбільш трудоємкої операції при відгодівлі молодняка ВРХ- роздачі телятам замінника цільного молока (ЗЦМ). Вихідними даними для вивчення технологічного процесу використані технологічні карти і технологічні схеми установок для раздачі ЗЦМ [2,3]. В табл.1 приведені технологічні переходи і час виконання переходів при роздачі ЗЦМ установкою КПГ-10.

По кожному технологічному переходу технологічної операції роздачі ЗЦМ сформулюємо головну енергетичну функцію оператора і установки.

Для опису енергетичних функцій оператора виберемо наступні показники: категорія робіт, потужність, час, повні енерговитрати, а для опису енергетичних функцій установки- потужність, час, корисні енерговитрати, к.к.д. і повні енерговитрати.

Для наглядності і зручності зберігання інформації про енергетичні властивості системи роздачі ЗЦМ побудуємо матрицю зв'язків енергетичних функцій і енергетичних показниках її компонентів (оператора і установки) (табл.1).

Таблиця 1

**Процес роздачі ЗЦМ установкою КПГ-10**

| № п/п | Технологічний перехід | Витрати часу, с |
|---|---|---|
| 1 | Засипання сухого порошку в бак | 300 |
| 2 | Заливання гарячої води в бак | 420 |
| 3 | Заливання холодної води в бак | 420 |
| 4 | Змішування | 780 |
| 5 | Перекачування ЗЦМ в лінію роздачі | 240 |
| 6 | Дозування з допомогою пістолета у відра і їх розставляння | 4680 |
| 7 | Випоювання ЗЦМ | 3900 |
| 8 | Мийка обладнання дезинфікуючим розчином | 1800 |
| | Оперативний час | 12540 с. |

**Висновок.** На основі запропонованої моделі розраблено алгоритм розрахунку енергетичних показників процесу роздачі замінника цільного молока, реалізований на ЕОМ. Аналіз отриманих результатів показує, що питомі енерговитрати при використанні установки КПГ-10 складають 21,84 кДж/гол, що на 22,6% менше, ніж при використанні установки УВТ-20, а це дозволяє збільшити навантаження на оператора з 120 до 180 голів. Повні енерговитрати оператора при цьому складають 912,1 кДж/год., що менше гранично допустимих енерговитрат.

**Список використаних джерел**

1. Технологія виробництва продукції тваринництва / за ред. О. Т. Бусенка. Київ: Вища освіта, 2005. 496 с.
2. *Чміль А. І.* Енергетична ефективність і екологічна безпека замкнутих еколого-біотехнічних систем в тваринництві: монографія. Київ: КОМПРИНТ, 2015. 163 с.
3. Теорія та розрахунок машин для тваринництва / *Б. П. Шабельник* та ін. Харків, 2002. 212 с.

## РАСЧЕТ ЭНЕРГОЗАТРАТ РУЧНОГО ТРУДА ЖИВОТНОВОДСТВЕ

**Чмиль А. И.**

**Аннотация** - среди мероприятий по дальнейшему повышению экономической эффективности производства животноводческой продукции важное место занимают вопросы совершенствования организации ручного труда обслуживающего персонала. Известно, например, что в среднем по Украине затраты труда на 1 ц прироста молодняка крупного рогатого скота составляют 54 чел.-ч, в то время как в передовых животноводческих комплексах они составляют 7-10 чел.-час.

В большинстве случаев основным критерием оценки живой и овеществленного труда является время. Однако, при этом не учитываются такие важные свойства как тяжесть труда, интенсивность труда, монотонность труда и др. В то же время любой вид трудовой деятельности связан с затратами физической и умственной энергии, а также психическим и эмоциональным напряжением. Это обстоятельство побудило ученых выявить предельно допустимую величину затрат энергии при которой может быть допущена ежедневно повторяющееся работа в таких условиях труда и с такой интенсивностью выполнения, не вызовет у работника явления износа или повреждения. На основе предложенной модели разработан алгоритм расчета энергетических показателей процесса раздачи заменителя цельного молока, реализуемый на ЭВМ. Анализ полученных результатов показывает, что удельные энергозатраты при использовании установки КПГ-10 составляют 21,84 кДж / гол, что

на 22,6% меньше, чем при использовании установки УВТ-20, что позволяет увеличить нагрузку на оператора с 120 до 180 голов .

**Ключевые слова:** энергозатраты, машинно-ручные операции, проектирование машин.

## CALCULATION OF ENERGY CONSUMPTION OF MANUAL LABOR IN ANIMAL HUSBANDRY

**A. Chmil**

### Summary

Among the measures to further improve the economic efficiency of livestock production, the issue of improving the organization of manual labor of service personnel is important. It is known, for example, that on average in Ukraine labor costs by 1 ts of growth of young cattle make up 54 man-years, whereas in advanced livestock complexes they make 7-10 man-years.

In most cases, the main criterion for evaluating live and oracle work is the time. However, while not taking into account such important properties as the severity of labor, the intensity of labor, the monotony of labor, etc. At the same time, any kind of labor activity is associated with the expenditure of physical and mental energy, as well as mental and emotional stress. This circumstance encouraged scientists to identify the maximum permissible amount of energy expenditure, which can be allowed daily repetitive work in such conditions of work and with such intensity of execution, which will not cause the employee the phenomenon of wear or damage. The structural-energy model of a joint machine and manual technological processes is shown.

For clarity and ease of storage of information about the energy properties of the distribution system of a whole milk substitute, a matrix of relationships of energy functions and energy indicators of its components is built. On the basis of the proposed model, an algorithm for calculating the energy indices of the process of distribution of a whole milk substitute, is implemented on the computer. The analysis of the results shows that the specific power consumption at the KPG-10 installation is 21.84 kJ / h, which is 22.6% less than when using the FVT-20 installation, which allows to increase the load on the operator from 120 to 180 heads

**Keywords:** energy consumption, machine-manual operations, machine design.

**УДК 621.867.7:631.223.6.014 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-15**

# РОЗРОБКА АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДА ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТ ВОДОКОМБІКОРМОВОЇ СУМІШІ ГІДРОТРАНСПОРТНОЇ УСТАНОВКИ ПРОМИСЛОВОГО СВИНАРСТВА ПРИ ЗМІНІ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОРМУ ТА ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГІЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

**Лисиченко М. Л., д. т. н.** **https://orcid.org/0000-0002-4424-0159**
**Хандола Ю. М., к. т. н.**
E-mail: xandola@ukr.net,
**Назаренко О. Ю., к. т. н.** **https://orcid.org/0000-0002-5567-9140**
E-mail: olganazarenko1919@gmail.com,
**Сухін В. В., інж.**
E-mail: VVS11101992@gmail.com
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture
*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенка*

***Анотація*** – у статті представлено метод аналітичного розрахунку витрат водокомбікормової суміші гідротранспортної установки при зміні фізико-механічних властивостей корму та характеристик технологічного обладнання. На основі аналізу технології виробництва свинини визначено, що корма є однією із головних компонентів, які впливають на собівартість продукції – м'яса свинини. Реалізована можливість раціонального використання корму на основі комунікаційних та інформаційних систем обробки даних. Визначені основні показники оцінки роботи систем автоматичного керування роздачою рідкого корму, які залежать від ступеня і адекватності математичного опису об'єктів керування. Розглянута технологія роздачі рідких кормів в групові кормушки свинарника. Для дослідження застосовувалась гідротранспортна установка промислового призначення з насосною подачею корму. Межі зміни фізико-механічних властивостей кормсумішей створювались локальними пристроями автоматики. Встановлені межі зміни властивостей вологих кормосумішей. Представлений набір рівнянь, які й формують метод.

***Ключові слова:*** гідротранспортна установка, корма та кормосуміші, математичний метод, автоматична система керування, насосні станції.

**Постановка проблеми.** Сучасне свинарництво представляє собою високорозвинену галузь з перспективними виробничими можливостями. Забезпечення якісним м'ясом значної частини

© Лисиченко М. Л., Хандола Ю. М., Назаренко О. Ю., Сухін В. В.

населення країни залежить від ефективності промислового виробництва свинини [1]. Для створення умов подальшого збільшення її виробництва, підвищення якості та зниження собівартості необхідно запровадити заходи щодо подальшої інтенсифікації галузі. Корма у свинарництві відносяться до числа головних сировинних ресурсів, які сприяють реалізації максимальної продуктивності тварин, закладеної під час селекційної роботи [2]. Відомо, що в структурі собівартості виробництва м'яса свинини, витрати на корма складають близько 70 %, у зв'язку з цим раціональне використання їх є вирішальною умовою зниження собівартості [3].

Подальша реалізація вказаної мети та формування оптимальних величин інших витрат на продукцію, можливе, застосовуючи системи обробки даних, комунікаційні та інформаційні технології, що забезпечують дистанційне отримання і обробку інформації про параметри виконуваного технологічного процесу, рівень продуктивності і стан здоров'я тварин, а також дають можливість оперативно приймати управлінські рішення [4]. Виходячи з цього, побудова автоматичних систем роздавання кормів у групові годівниці свиней на основі пропонованих технічних параметрів формує завдання, яке треба вирішити.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз науково-технічної літератури виявив, що для годування застосовують два типи кормів і кормосумішей: сухі та вологі. На даний час, все більшого розповсюдження набувають вологі корма, які засвоюються тваринами в повному обсязі. Для автоматичного керування роздачою рідкого корму або кормосумішей в свинарниках, існують системи H+L, Hydromix, ін. Важливими показниками їх роботи, як і будь-якої автоматичної системи керування різними технологічними об'єктами є їх якість, стійкість та її запас міцності, що в значній мірі залежить від ступеня і адекватності математичного опису об'єктів керування та відображають свій вплив на ефективність функціонування самих гідротранспортних установок свинокомплексів. Тому, проведення досліджень в напрямку створення якісних математичних методів і моделей опису технологічного обладнання роздачі водокомбікормових сумішей є актуальним.

**Формулювання цілей статті.** Розробка аналітичного методу визначення витрат водокомбікормової суміші гідротранспортної установки промислового свинарства при зміні фізико-механічних властивостей корму, характеристик технологічного обладнання для математичного забезпечення алгоритму функціонування системи автоматичного керування нормованою роздачою рідкого корму у групові кормушки свинарника. Для цього потрібно виконати наступні задачі: провести аналіз технології транспортування рідких кормів на

свинокомплексах промислового типу, визначитися з типом гідротранспортної установки і її видом подачі, забезпечити локальний автоматичний контроль граничних умов зміни фізико-механічних властивостей корму, прийняти нерегульовані параметри процесу відповідними вимогами типового проекту, встановити діапазони змін співвідношення рідкої та твердої фази і параметрів водокомбікормової суміші, а також із використанням відомих співвідношень гідромеханіки і реології.

**Основні матеріали дослідження.** На свинокомплексах промислового типу із застосуванням гідротранспорту рідких кормів, кормова суміш через шланговий затвор з електропневмоприводом подається з кільця обслуговування до кільця розподілу. Одночасно такий самий об'єм корму витісняється в ємність для корму (годивниці). Насоси забезпечують безперервну циркуляцію кормосуміші з вологістю 65-80 % в колах зі швидкістю 1-5 *м/с*. Нерозривність потоку кормосуміші обумовлює рівність витрат через шланговий затвор та зливний отвір кормового спуску.

Питання математичного опису досліджуваного об'єкту керування є частиною загальної задачі оптимізації, що передбачає побудову адекватної оцінки інформаційних параметрів об'єкту. Тому, доцільна розробка методики аналітичного визначення витрат водокомбікормової суміші у круглому трубопроводі діаметром 30-200 *мм* при зміні фізико-механічних властивостей корму та характеристик технологічного обладнання. За основу взято уніфіковану гідротранспортну установку для промислового свинарства з насосною подачею кормосуміші (тип *Hydro Mix*).

Вихідні параметри зміни фізико-механічних властивостей корму забезпечуються локальними пристроями автоматики – нерегульовані вхідні параметри процесу відповідають вимогам типового проекту:

*V/M* – співвідношення рідкої та твердої фаз у складі кормо суміші, *л/кг* (*V/M* = 1,5-3,0 *л/кг)*;
*t* – температура води, $^0C$ *(t* = 15-60 $^0C$*);*
$10^3\alpha$ – температурний коефіцієнт об'ємного розширення води, $1/^0C$ *(*$10^3\alpha$ = 0,15-0,458 $1/^0C$*)*;
$\omega$ – вологість комбікорму, % ($\omega$ = 10-14 %);
*q* – середній лінійний розмір частинок комбікорму, *мм* (*q* = 0,2-2,6 *мм)*.

В результаті узагальнення відомих експериментальних даних по визначенню кількісно-якісних взаємозв'язків між основними інформативними параметрами процесу [4, 6], врахування технологічних особливостей об'єкта, а також використання основних

співвідношень гідромеханіки [7] та реології [8] стосовно до процесу досліджень, отримані наступні рівняння для розрахунку:

1. Шляхова витрата кормосуміші, яка шукається – $Q_n$ ,$м^3/с$:

$$Q_n = \left[\left(\eta Q_к + \frac{1}{24}\pi\tau_0 d^3\right)l_к - \frac{1}{4096}\pi\rho g H_к d^4\right]\eta l; \quad (1)$$

де $d$ – діаметр трубопроводу, *м*;
$l_k$ – довжина кільцевого трубопроводу, *м*;

2. Коефіцієнт динамічної в'язкості водокомбікормової суміші – $\eta$, *Па·с*:

$$\eta = 0{,}008\tau_0^2 - 0{,}5\tau_0 + 9{,}8; \quad (2)$$

3. Напруження тертя – $\tau_0$ ,*Па*:

$$\tau_0 = 0{,}25\rho g d - 32\eta Q_к / \pi d^3; \quad (3)$$

4. Витрата кормосуміші, що циркулює в кільцевому трубопроводі – $Q_к$ ,$м^3/с$:

$$Q_к = (\pi/8\eta)(P/l_к)(d/2)^4; \quad (4)$$

де $d$ – діаметр трубопроводу, *м*;

5. Натиск, що створюється насосом у кільцевому трубопроводі – $H_к$, *м*:

$$H_к = K_1 Q_к^2 + K_2 Q_k + H; \quad (5)$$

$$K_1 = \left[Q_2^{`}\left(H - H_1^{`}\right) - Q_1^{`}\left(H - H_2^{`}\right)\right] / Q_1^{`}Q_2^{`}\left(Q_2^{`} - Q_1^{`}\right); \quad (6)$$

$$K_2 = \left[\left(Q_1^{`}\right)^2\left(H - H_2^{`}\right) - \left(Q_2^{`}\right)^2\left(H - H_1^{`}\right)\right] / Q_1^{`}Q_2^{`}\left(Q_2^{`} - Q_1^{`}\right); \quad (7)$$

$$H = H_0\rho / \rho_B; \quad (8)$$

$$\rho = 1097 - 2{,}5(W - 64); \quad (9)$$

$$\rho_B = \rho_{20}(1 + \alpha t); \quad (10)$$

$$W = (0{,}1\rho_B V / M + \omega)/(0{,}001\rho_B V / M + 1), \quad (11)$$

де $l$ – довжина трубопроводу, в якому гаситься ударний тиск при гідроударі, *м*;

$p$ – перепад тиску в нагнітальному та всмоктувальному патрубках насоса, *Па*;

$Q_1$`, $Q_2$`, $H_1$`, $H_2$` – перераховані з води на кормосуміш по рекурентним формулам паспортні дані насоса відповідно для режимів максимального ККД і номінальної потужності, $м^3/с$ і *м* відповідно;

$H_0$, $H$ – натиск насоса в режимі холостого хода відповідно по паспорту й перерахований з води на кормосуміш, *м*;

$\rho$ – щільність кормосуміші при температурі *t*, $кг/м^3$;

$W$ – вологість кормосуміші, *%*;

$\rho_B$ – щільність води при температурі t, $кг/м^3$;

$\rho_{20}$ – щільність води при 20 $^0$C, $кг/м^3$.

Визначати витрати кормосуміші в напірному трубопроводі узагальненої гідротранспортної установки слід в зворотному порядку від наведеної послідовності рівнянь.

**Висновок.** Розроблений алгоритм розрахунку може бути використаний для включення в алгоритм математичного забезпечення системи автоматичного керування нормованою роздачею рідкого корму у групові годівниці свинарника.

Обчислювальна процедура достатньо проста, щоб її можна було реалізувати у системі прямого цифрового керування, а алгоритм розрахунку дозволяє відстежувати параметри об’єкта, які змінюються.

**Список використаних джерел**

1. Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року / за ред. Я. М. Гадзала, М. І. Бащенка, В. М, Жука, Ю. О. Лупенка. Київ: Аграрна наука, 2016. 216 с.

2. Тваринництво України: стан, проблеми, шляхи розвитку (1991-2017-2030 рр.) / за ред. М. І. Бащенка. Київ: Аграрна наука, 2017. 160 с.

2. *Кононенко С. И.* Комбикорма с рапсовым жмыхом для свиней. *Научный журнал КубГАУ*. 2011. № 72(08). С. 1-17.

3. Роль информационных технологий в племенном животноводстве Казахстана / *Т. Н. Карымсаков* и др. *Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства*. 2018. С. 1-9.

4. *Переведенцев В. В.* Транспортирование кормосмесей по трубам. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1973. № 12.

5. *Хлебников М. К.* Исследование параметров гидротранспорта кормовых смесей центробежными насосами. Материалы межвузовской конференции по гидротранспорту МИСИ. Москва, 1970.

6. *Цуренко Ю. И.* Гидромеханика. Гидравлика. Северодвинск: СЕВМАШВТУЗ, 2007. 61 с.

7. *Моргунова Н. Л.* Реология. Краткий курс лекций для студентов. Саратов, 2018. 43 с.

## РАЗРАБОТКА АНАЛИТИЧЕСКОГО МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДА ВОДОКОМБИКОРМОВОЙ СМЕСИ ГИДРОТРАНСПОРТНОЙ УСТАНОВКИ ПРОМЫШЛЕННОГО СВИНОВОДСТВА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРМА И ХАРАКТЕРИСТИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

**Лисиченко Н. Л., Хандола Ю. Н., Назаренко О. Ю., Сухин В. В.**

***Аннотация*** - в статье представлен метод аналитического расчета расходов водокомбикормовой смеси гидротранспортной установки при изменении физико-механических свойств корма и характеристик технологического оборудования. На основе анализа технологии производства свинины определено, что корма являются одной из главных компонент, которая влияет на себестоимость продукции - мяса свинины. Реализована возможность рационального использования корма на основе коммуникационных и информационных систем обработки данных. Определены основные показатели оценки работы систем автоматического управления раздачей жидкого корма, которые зависят от степени и адекватности математического описания объектов управления. Рассмотрена технология раздачи жидких кормов в групповые кормушки свинарника. Для исследования применялась гидротранспортная установка промышленного назначения с насосной подачей корма. Пределы изменения физико-механических свойств кормосмесей создавались локальными устройствами автоматики. Установлены пределы изменения свойств влажных кормосмесей. Представлен набор уравнений, которые и формируют метод.

***Ключевые слова:*** гидротранспортная установка, корма и кормосмеси, математический метод, автоматическая система управления, насосные станции.

# DEVELOPMENT OF ANALYTICAL METHOD FOR DETERMINING THE COSTS WATER-COMBINED MIXTURE OF HYDROTRANSPORTATION INSTALLATION INDUSTRIAL SOLVENCY IN CHANGE PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CORN AND CHARACTERISTICS TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

**M. Lysychenko, Y. Khandola, O. Nazarenko, V. Sukhin**

## Summary

In article the method of analytical calculation consumption water-fodder mixture hydrotransport unit during change physical and mechanical properties a feed and characteristics technological equipment is presented. The sector pig breeding is briefly described and one of the main components that affects cost pork meat production is indicated. Realized possibility of rational use feed on the basis communication and information systems data processing. The basic indexes estimation work systems of automatic control distribution liquid feed are determined, which depend on degree and adequacy mathematical description objects management: the length of the pipeline in which shock pressure is extinguished during water hammer; pressure drop in the discharge and suction nozzles of the pump; recalculated from water to feed mixtures according to recurrence formulas of the passport data of the pump for maximum efficiency and rated power; pressure of the pump in idle mode according to the passport and counted from the water to the feed mixture; feed mixture density at a given temperature; feed mixture moisture; water density at a given temperature and at 20 °C.

. Technology distributing liquid feeds in the pig breeding pig feeders is considered. For research the hydraulic transport plant of industrial use with pump feed was used. Boundaries the change in physical and mechanical properties of feed were created by local automation devices. The limits of changing properties water are established. A set equations that form a method is presented.

**Keywords:** hydrotechnical installation, feeds and feed mixes, mathematical method, automatic control system, pumping stations.

**УДК 519.873:[629.052.3:656.6] DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-16**

# ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ СИНТЕЗУ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИГНАЛІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ РАДІОНАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ УПРАВЛІННЯ РУХОМ ЗАСОБІВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТУ

**Богом'я В. І., д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-4403-3130**
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
e-mail: bog260341@gmail.com, tel.: +38 (050) 3984796

**Тимощук О. М., д. т. н., https://orcid.org/0000-0003-3684-6182**
*Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ*
e-mail: mnielena7@gmail.com, tel.: +38 (097) 3246789

**Дакі О. А., к. філ. н. https://orcid.org/0000-0003-3932-462X**
*Дунайський факультет морського та річкового транспорту Державного університету інфраструктури та технологій, м. Київ*
e-mail: df_duit@ukr.net, tel.: +38 (098) 7288893

***Анотація*** – в статті розглянуто наявність у практиці контролю технічного стану складних систем протиріччя, а саме забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною науковою проблемою є створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, а саме розроблення методів синтезу вимірювальних сигналів і оброблення відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

У статті обґрунтовано напрям і сформульовано часткові задачі наукового дослідження. Для розв'язання поставлених часткових задач у роботі пропонується використовувати теорію чутливості динамічних систем, методи варіаційного числення та динамічного програмування, теорію оптимізації функцій і теорію матриць.

Реальні системи призначені для роботи всередині визначеного діапазону значень сигналів. У цьому діапазоні структура системи з відомою точністю описується деяким оператором. Тому, можливі значення сигналу обмежені

© Богом'я В. І., Тимощук О. М., Дакі О. А.

областю, всередині якої точність апроксимації оператора системи не нижче точності, з якою визначаються в процесі контролю параметри системи.

***Ключові слова:*** засоби водного транспорту, радіонавігаційні комплекси, контроль технічного стану, вимірювальні сигнали, синтез, обробка, управління рухом, прилади контролю та діагностування.

**Постановка проблеми.** Застосування сучасних систем і комплексів навігації для управління рухом засобів водного транспорту дозволило забезпечити судноводіїв повною й достовірною інформацією про обстановку навколо такого засобу [1].

Перспективним напрямком розвитку методів і приладів контролю та діагностування технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту є їх автоматизація та універсалізація [2].

При цьому виникає відоме у практиці контролю технічного стану складних систем *протиріччя*: забезпечення заданої достовірності інформації про технічний стан радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту потребує збільшення обсягу та точності вимірювань при оцінюванні їх характеристик з одного боку, з іншого – відсутність методів автоматизації процесів синтезу вимірювальних сигналів та обробки відгуків на них для цього.

У рамках зазначеного протиріччя актуальною *науковою проблемою* є створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, а саме розроблення методів синтезу вимірювальних сигналів і оброблення відгуків на них для підвищення достовірності та оперативності автоматизованого контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

**Аналіз останніх досліджень.** Провідними закордонними фахівцями в даній галузі, зокрема, Ван Схонвелд, Ван Оудер, А. Томпсон, І. Коллар, Т. Уілсон, а також відомими вітчизняними вченими, такими як М. Я. Мінц, Д. В. Корольков, Ю. М. Парійський, Ю. Ф. Павленко, В. К. Волосюк, В. М. Чинков, П. А. Шпаньон, В. Г. Алексишин, Л. А. Козырь, С. В. Симоненко, Л. Л. Вагущенко, Н. Н. Цымбал та ін. розроблено ряд робіт, які доказують можливість використання складних вимірювальних сигналів, окрім періодичних синусоїдних і прямокутних, для контролю технічного стану технічних систем [2–5].

Проте, лише оглядово розглянуто методи синтезу вимірювальних сигналів складної форми для контролю технічного стану радіотехнічних систем. Це пов’язано з відсутністю на той час технічної можливості створити відповідні моделі для перевірки синтезованих сигналів складної форми.

**Формулювання цілей статті.** У статті запропоноване розв’язання цієї проблеми на базі створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту.

З урахуванням результатів проведеного аналізу вимірювальних сигналів і методів їх синтезу для контролю технічного стану РТС [3, 4] як основних складових систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден шляхи підвищення ефективності заходів обслуговування можна звести до двох напрямків:

– удосконалення та розробка нових методів синтезу вхідних вимірювальних сигналів і обробки відгуків на них, оптимальних за рядом критеріїв;

– дослідження нових підходів до побудови апаратурної реалізації калібраторів вимірювальних сигналів і аналізаторів відгуків на такі сигнали, що сприяє підвищенню рівня автоматизації, універсалізації (уніфікації), а також зниженню вагогабаритних характеристик і енергоспоживання.

**Основні матеріали дослідження.** Для розв’язання поставлених часткових завдань доцільно використовувати теорію чутливості динамічних систем, теорію контролю технічних систем, методи варіаційного числення, теорію оптимізації функцій і теорію матриць, методи математичного моделювання.

Методологічною основою дослідження є системний підхід при розробленні теоретичних основ синтезу та обробки вимірювальних сигналів.

*Обґрунтування напряму досліджень. Постановка часткових завдань дослідження.* Передбачається така методологія досліджень:

– спочатку необхідно обґрунтувати критерії оптимальності синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів. Для цього треба зв’язати цільові функції та обмеження з характеристиками сигналів (змінними оптимізації);

– з урахуванням вигляду (характеру) отриманих цільових функції та обмежень розробити методи синтезу вхідних сигналів і дослідити їх;

– використовуючи отримані теоретичні результати, розробити теоретичні та прикладні основи побудови цифрових калібраторів вимірювальних сигналів і аналізаторів відгуків на такі сигнали – методи обробки відгуків на вхідні вимірювальні сигнали;

– розробити метод прогнозування технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден за результатами контролю.

У рамках даної методології досліджень сформулюємо часткові проблеми та задачі, які необхідно розв’язати для досягнення мети роботи [5]:

– відсутність методів і засобів контролю поточного технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх експлуатації за станом. Пропонується розробити методи синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при експлуатації за поточним станом. Отримані результати дозволять удосконалити алгоритми роботи ЗВТ з контролю (вимірювання) параметрів систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– використання частотних і часових методів синтезу вимірювальних сигналів. Ці методи призначені для синтезу тільки синусоїдних і прямокутних сигналів. Раніше сигнали іншої форми не використовувались з технічних причин, але на сьогодні синтез сигналів будь-якої форми технічно можливий без суттєвих труднощів. Пропонується розробити нові методи синтезу, засновані на методах варіаційного числення, динамічного програмування. Отримані результати дозволять синтезувати вхідні вимірювальні сигнали складної форми (полігармонійні сигнали) і автоматизувати проведення контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– неможливість точного визначення параметрів контролю на їх границі (а це актуально для систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, які експлуатуються поза встановлений термін) за допомогою вхідних вимірювальних сигналів, які синтезовані на основі частотних і часових методів. Застосування методів варіаційного числення та динамічного програмування дозволить отримати рішення навіть у тих випадках, коли параметри систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден знаходяться на границі допустимої області. Отримані результати підвищать достовірність контролю технічного стану старіючих зразків систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден (що відпрацювали встановлений ресурс);

– застосування інерційних блоків (елементів) для збільшення коефіцієнта перешкодостійкості, що підвищує час на проведення контролю. Пропонується розробити методи синтезу вимірювальних сигналів, які є перешкодостійкими, що зменшить час контролю. Отримані результати дозволять підвищити перешкодостійкість вимірювальних сигналів.

Отже, для досягнення поставленої в роботі мети необхідно вирішити такі часткові завдання [6,7]:

– провести аналіз відомих методів синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– удосконалити метод обґрунтування критеріїв (кількісних оцінок) оптимальності синтезу вимірювальних сигналів для автоматизованого контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– удосконалити метод обробки вихідного сигналу систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– удосконалити метод визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх автоматизованому контролі;

– провести експериментальну перевірку отриманих теоретичних результатів і розробити рекомендації щодо їх впровадження для автоматизованого контролю технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

В основу протиріччя покладені фактори, які впливають на процес визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, і стан процесу контролю технічного стану. Серед факторів, які впливають на процес визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, виділимо наступні [5–7, 9]:

– низька точність визначення параметрів контролю на їх границі (а це актуально для систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден, які експлуатуються поза встановлений термін);

– використання синусоїдних і прямокутних сигналів;

– відсутність методів і засобів визначення та діагностування поточного технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден при їх експлуатації за станом;

– накладання обмежень незалежно від форми вимірювального сигналу з боку генератора (калібратора). Це призводить до додаткових похибок, тобто до зменшення достовірності контролю технічного стану.

Серед недоліків стану процесу контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден виділимо такі [6,7]:

– значні часові витрати на контроль технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден у поза призначений термін експлуатації;

– значні часові витрати на обробку вимірювальної інформації при контролі технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден;

– постійна потреба в уточненні технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден протягом експлуатації в міжконтрольний період;

– низький рівень автоматизації процесу вимірювання параметрів при контролі технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

Розв'язання зазначених часткових проблем і задач, які сформульовані в рамках протиріччя досліджень, дозволить досягти мети дослідження.

*Обґрунтування методів розв'язання часткових завдань дослідження.* У теорії контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден основними кількісними характеристиками, що визначають якість контролю систем, є чутливість, точність визначення параметрів і кількість інформації про стан системи [7–9].

Основою визначення технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден є операції з вимірювання їх параметрів, тобто визначення впливу зміни (варіації) параметрів контролю систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден на можливість їх подальшого функціонування у штатному режимі. Тому основною кількісною характеристикою вважається чутливість систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден [6, 7, 9].

Основне завдання теорії чутливості – аналіз додаткового руху, викликаного варіацією параметрів. Цей аналіз включає кількісні оцінки, дослідження стійкості, моделювання, синтез систем з урахуванням заданих вимог до якості додаткового руху, розробку методів активної дії на параметри системи управління з метою досягнення заданої якості додаткового руху.

Основні положення теорії розробили Виховський М. Л., Томовіч Р., Кокотович П. В. та ін. Воді Р. ввів поняття чутливості як відношення відносної варіації параметра $q_j$, $j=\overline{1,n}$, до викликаної їм відносної варіації передатної функції $W(s)$ (стосовно лінійних систем) [10]:

$$S_W^{q_j} = \frac{\partial q_j / q_j}{\partial W / W} = \frac{\partial \ln q_j}{\partial \ln W}.$$

Частіше застосовується зворотна величина

$$S_{q_j}^{W} = \frac{\partial W / W}{\partial q_j / q_j} = \frac{\partial \ln W}{\partial \ln q_j}. \qquad (1)$$

За прямі оцінки чутливості прийнято використовувати функції чутливості $u(t, q_j)$, що відіграють значну роль у кількісній оцінці ступеня впливу варіації параметрів $q_j$ на динамічні якості системи. Функції чутливості у випадку нескінченно малих варіацій параметрів визначають так. Нехай початкова умова систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден описується диференціальним рівнянням [10,11]

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0) = 0, \tag{2}$$

де $x(t, q_0)$ – розв'язок рівняння;

$q_0$ – параметр системи.

При зміні $q_0$ на величину $\Delta q_0$ відповідно зміниться рівняння (2)

$$F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0 + \Delta q) = 0 \tag{3}$$

і його розв'язок $x = x(t, q_0 + \Delta q)$, що описує варіаційний рух.

Різниця $x(t, q_0 + \Delta q) - x(t, q_0)$ характеризує додатковий рух. Границя відношення цієї різниці

$$\lim_{\Delta q \to 0} \frac{x(t, q_0 + \Delta q) - x(t, q_0)}{\Delta q} = \frac{\partial x(t, q_0)}{\partial q_0} = u(t, q_0)$$

є функцією чутливості $u(t, q_0)$. Якщо в системах і комплексах навігації та управління рухом морських суден, а, отже, і в диференціальному рівнянні, що їх описує, змінюються декілька параметрів, то функція чутливості визначається точно так, як і функція декількох параметрів $u(t, q_0, q_1, ..., q_i, ..., q_n)$. Функції чутливості можна визначити в результаті розв'язання диференціальних рівнянь (рівнянь чутливості), що отримуються з (2) або (3), якщо розв'язки їх є безперервними функціями параметрів. Дійсно, якщо визначити часткові похідні функції $F(\ddot{x}, \dot{x}, x, t, q_0)$ за $q_0$, то з (2)

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}} \frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}} \frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial x} \frac{\partial x}{\partial q_0} + \frac{\partial F}{\partial q_0} = 0, \tag{4}$$

де $\frac{\partial \dot{x}}{\partial q_0} = \frac{\partial}{\partial t} \frac{\partial x}{\partial q_0}$; $\frac{\partial \ddot{x}}{\partial q_0} = \frac{\partial^2}{\partial t^2} \frac{\partial x}{\partial q_0}$.

При врахуванні того, що, згідно з визначенням коефіцієнта чутливості,

$$\frac{\partial x}{\partial q_0} = u(t, q_0);\ \frac{\partial u(t, q_0)}{\partial t} = \dot{u}(t, q_0);\ \frac{\partial^2 u(t, q_0)}{\partial t^2} = \ddot{u}(t, q_0),$$

то з (3) отримаємо рівняння чутливості

$$\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}\ddot{u} + \frac{\partial F}{\partial \dot{x}}\dot{u} + \frac{\partial F}{\partial x}u = -\frac{\partial F}{\partial q_0}.$$

Отримані рівняння є лінійними, навіть якщо початкове рівняння (4) є нелінійним, тому що похідні $\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}, \frac{\partial F}{\partial \dot{x}}, \frac{\partial F}{\partial x}$ не залежать від $u(t, q_0)$.

Якщо початкове рівняння (4) лінійно відносно $x, \dot{x}, \ddot{x}$, то ліва частина рівняння чутливості має таку ж структуру та такі ж коефіцієнти, як і початкове. У цьому випадку $\frac{\partial F}{\partial \ddot{x}}, \frac{\partial F}{\partial \dot{x}}, \frac{\partial F}{\partial x}$ дорівнюють коефіцієнтам при змінних $x, \dot{x}, \ddot{x}$ в початковому рівнянні. Якщо рівняння чутливості (4) залежить від двох і більше параметрів $u(t, q_0, q_1, ..., q_i, ..., q_n)$, то вони визначаються аналогічно.

Методи розв’язання рівняння чутливості засобами обчислювальної техніки для малих обурень параметрів достатньою мірою розвинув Майсингер [11]. Їх широко застосовують для визначення функцій чутливості. Часто для визначення цих функцій, особливо лінійних систем, використовують структурні методи.

Метод варійованої ланки, розроблений Биховським М.Л., зручний тим, що для отримання функції чутливості досить лише мати в своєму розпорядженні вхідні та вихідні величини початкової системи і варійованої ланки і модель залежності характеристик тільки цієї ланки від варіації параметрів [12, 13]. Кокотович П.В. розповсюдив цей метод на ширший клас систем, включаючи нелінійні та нестаціонарні [12–14].

Для визначення функції чутливості потрібно дві моделі: початкової системи і системи, подібної до початкової, об'єднані зв’язуючою ланкою з передавальною функцією $\partial W / \partial q$. Якщо в системі змінюються n параметрів, то для визначення функцій чутливості необхідно мати n моделей, подібних до початкової. Це незручно, внаслідок чого на практиці вдаються до почергового визначення функцій чутливості за допомогою однієї моделі шляхом комутації зв’язуючих ланцюгів для кожної варіації $q_R$.

Для аналізу чутливості, окрім безпосереднього визначення функцій чутливості, застосовуються різні непрямі оцінки, наприклад частотні:

$$S_W^R(j\omega)=\frac{\partial \ln k(j\omega)}{\partial \ln W(j\omega)};\ \ S_q^R(j\omega)=\frac{\partial \ln k(j\omega)}{\partial \ln q},$$

де $k(j\omega)$ – АФХ системи;

$W(j\omega)$ – АФХ ланцюга, що змінюється.

Проте, безпосереднє обчислення додаткового руху за частотними характеристиками складне. Часто застосовуються квадратичні показники (наприклад, дисперсія $\sigma_{\Delta x}^2$) додаткового руху, викликаного варіацією параметрів. Достатньо повно розроблені й інші непрямі оцінки, наприклад, коефіцієнт чутливості нулів і полюсів передатної функції системи до варіації параметрів $q_j$. Основні положення теорії чутливості безперервних систем поширені й на розривні системи.

Теорію чутливості прийнято застосовувати в системах автоматичного управління [14, 15]. Функції чутливості несуть у собі надзвичайно цінну інформацію для вирішення завдань синтезу динамічних систем.

Одним з найважливіших завдань є синтез систем, що мають мінімальну чутливість до варіації параметрів. Такий синтез можна здійснити на основі певних умов, що накладаються на деякий функціонал $I[\Delta x(t)]$, що характеризує додатковий рух. На основі вимоги рівності нулю цього функціонала синтезуються системи, що володіють властивістю параметричної інваріантності, тобто нечутливі до варіацій параметрів.

Розроблені методи синтезу оптимальних за нечутливістю систем на основі мінімізації функціонала $I[\Delta x(t)]$. У роботах деяких авторів, наприклад, пропонується розглядати завдання чутливості як теоретико-ігрове завдання автомату управління в припущенні, що обурення, викликане зміною параметрів, є антагоністичним за відношенням до динамічних властивостей об'єкту та дії, що управляють [14,15].

Таке застосування методів ігор теорії в теорії чутливості – перспективно, особливо для синтезу оптимальних систем управління, нечутливих до варіації параметрів об'єкту і що до того ж володіють мінімаксними властивостями.

Внаслідок того, що теоретичним фундаментом теорії чутливості є класичні методи теорії малих обурень, існує певний зв'язок між чутливістю і теорією стійкості в малому за Ляпуновим. Рівняння, що визначають функції чутливості за відношенням до малих змін

початкових умов диференціальних рівнянь, збігаються з рівняннями першого наближення в теорії стійкості Ляпунова А. М. Цей зв'язок має не тільки теоретичне, але і важливе практичне значення [15].

Теорію чутливості застосовують при побудові беспошукових самоналагоджувальних (адаптивних) систем. Використовуючи певну аналітичну залежність між сигналами основної системи і моделі чутливості, обчислюють функції чутливості, на основі яких визначають деякий функціонал

$$I = \int_0^T F(u_1, u_2, .., u_n, t)dt, \qquad (5)$$

залежний від параметрів, що змінюються. Процес самонастроювання проводиться так, щоб цей функціонал прагнув до нуля. Основною складністю при побудові таких систем є обчислення функцій чутливості, пов'язане з необхідністю розв’язання інтегральних рівнянь типу згортки. У роботах ряду авторів пропонуються методи наближеного визначення згортки, і це значно спрощує обчислення функцій чутливості [4–8, 11,12].

Велике практичне значення має так звана зворотна задача чутливості, що полягає в оцінці варіації параметрів за спостереженням викликаного ними обурення вихідного сигналу. Обчислені варіації параметрів за відхиленням вихідного сигналу можна використовувати для активної дії на параметри системи управління з метою поліпшення якості роботи системи в цілому. Хоча математичний фундамент для розв’язання зворотної задачі є, проте питання практичного застосування її ще недостатньо розроблені.

Метод динамічного програмування дозволяє отримати розв’язок задачі навіть у тих випадках, коли вимірювальний сигнал знаходиться на границі допустимої області [11, 12]. Тому, методи оптимального управління можуть бути використані для синтезу вхідного вимірювального сигналу тоді, коли на нього накладене обмеження. За показник оптимізації в цьому випадку приймаємо чутливість контролю [11, 12].

Ці методи взагалі застосовуються для визначення найбільших значень функціоналів при обмеженнях [9, 11, 15]. При цьому задача при застосуванні принципу максимуму полягає у вирішенні системи диференційних рівнянь. У методі динамічного програмування, який представляє собою ітераційну процедуру, пропонується за рекурентні співвідношення використовувати диференціальні (або відповідні ним рівняння різниці) рівняння, які описують динаміку системи.

Для удосконалення методів обробки вихідних вимірювальних сигналів систем і комплексів навігації та управління рухом морських

суден використовувалась теорія оптимізації функцій. Для розробки методу прогнозування технічного стану систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден застосовувалась теорія матриць.

На основі отриманих результатів сформульовані принципи побудови і алгоритми роботи цифрових автоматизованих приладів для визначення параметрів систем і комплексів навігації та управління рухом морських суден.

**Висновки.** Обґрунтований напрям і сформульовані часткові задачі наукового дослідження. Для розв'язанні поставлених часткових задач у роботі пропонується використовувати теорію чутливості динамічних систем, методи варіаційного числення та динамічного програмування, теорію оптимізації функцій і теорію матриць.

Реальні системи призначені для роботи всередині визначеного діапазону значень сигналів. У цьому діапазоні структура системи з відомою точністю описується деяким оператором. Тому, можливі значення сигналу обмежені областю, всередині якої точність апроксимації оператора системи не нижче точності, з якою визначаються в процесі контролю параметри системи.

Отже, мета роботи, направлена на створення теоретичних основ синтезу вимірювальних сигналів для контролю технічного стану радіонавігаційних комплексів управління рухом засобів водного транспорту, досягнута.

**Список використаних джерел**

1. Международная конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС. Санкт-Петербург: ЦНИИМФ, 2008. 984 с.

2. Глобальні супутникові системи навігації та зв'язку на транспорті: навчальний посібник / *Л. С. Беляєвський* та ін. Київ: Даж Бог, 2009. 216 с.

3. Особливості системного підходу до вирішення наукових завдань експлуатації суднового обладнання / *В. І. Богом'я* та ін.; за заг. ред. О. М. Тимощук. Київ: ДУІТ, 2018. 305 с.

4. *Алексишин В. Г., Козырь Л. А., Симоненко С. В.* Обеспечение навигационной безопасности плавания: учебное пособие. Одесса: Феникс, 2009. 518 с.

5. *Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н.* Системы автоматического управление движением судна. Одесса: Феникс, 2007. 367 с.

6. Р-моделювання складних динамічних систем / *Г. Л. Баранов* та ін. Київ: ДУИКТ, 2008. 131 с.

7. *Mozeson E., Levanon N.* Multicarrier radar signals with low peak-to-mean envelope power ratio. *IEE Proc.-Radar Sonar Navig*. 2003. Vol. 150, № 2. P. 71-77.

8. *O'Neill C. R., Arena A. S. Jr.* Time-domain training signals comparison for computational fluid dynamics based aerodynamic identification. *Journal of Aircraft.* 2005. Vol. 42, № 2. P. 421-428.

9. *Recio A., Rhode W.S.* (2000). Basilar membrane responses to broadband stimuli. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2000. Vol. 108, № 5. P. 2281-2298.

10. *Дакі О. А.* Автоматичні прилади контролю параметрів систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Новітні технології*. 2019. Вип. 1 (8). С. 95-104. DOI:10.31180/2524-0102/2019.1.08.12.

11. *Дакі О. А., Кривошей Ф. О., Панов С. Л.* Розробка автомата контролю лінійних і нелінійних систем управління та навігації засобів водного транспорту. *Наукоємні технології*. 2018. № 4 (40). С. 458-463. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13272.

12. Измерительные информационные системы / под ред. Н. А. Рубичева. Москва: Дрофа, 2010. 334 с.

13. *Доронин В. В.* Радионавигационные приборы и системы. Киев: КГАВТ, 2006. 472 с.

14. Навігаційне забезпечення управління рухом суден / *В. І. Богом'я* та ін. Київ: Компас, 2012. 336 с.

15. *Фридман А. Э.* Основы метрологии. Современный курс. Санкт-Петербург, 2008. 284 с.

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

**Богомья В. И., Тимощук Е. Н., Даки Е. А.**

***Аннотация*** – в статье рассмотрены наличие в практике контроля технического состояния сложных систем противоречия, а именно обеспечение заданной достоверности информации о техническом состоянии радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта требует увеличения объема и точности измерений при оценке их характеристик с одной стороны, с другой - отсутствие методов автоматизации процессов синтеза измерительных сигналов и обработки отзывов на них для этого.

В рамках указанного противоречия актуальной научной проблемой является создание теоретических основ синтеза измерительных сигналов для контроля состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта, а именно разработка методов синтеза измерительных сигналов и обработки отзывов на них для повышения достоверности и оперативности автоматизированного контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта.

В статье обосновано направление и сформулировано частичные задачи научного исследования. Для решения поставленных частных задач в работе

предлагается использовать теорию чувствительности динамических систем, методы вариационного исчисления и динамического программирования, теории оптимизации функций и теорию матриц.

Реальные системы предназначены для работы внутри определенного диапазона значений сигналов. В этом диапазоне структура системы с известной точностью описывается некоторым оператором. Поэтому, возможные значения сигнала ограничены областью, внутри которой точность аппроксимации оператора системы не ниже точности, с которой определяются в процессе контроля параметры системы.

***Ключевые слова:*** средства водного транспорта, радионавигационные комплексы, контроль технического состояния, измерительные сигналы, синтез, обработка, управление движением, приборы контроля и диагностики.

## THEORETICAL BASES OF SYNTHESIS OF MEASURING SIGNALS FOR MONITORING THE CONDITION OF THE RADIONAVIGATION COMPLEXES OF MOTION CONTROL MEANS OF WATER TRANSPORT

**V. Bogomya, E. Timoschuk, E. Daki**

### Summary

In the article the presence in the practice of controlling the technical condition of complex systems of contradiction is considered, namely, the provision of the given reliability of information about the technical state of the radionavigation complexes of the traffic control of water transport means requires an increase in the volume and accuracy of measurements in evaluating their characteristics on the one hand, and on the other - the lack of methods for automating processes the synthesis of the measurement signals and processing feedback on them for this.

Within the framework of this contradiction, the actual scientific problem is the creation of the theoretical foundations for the synthesis of measuring signals for monitoring the technical state of the radionavigation systems for controlling the movement of water transport vehicles, namely the development of methods for synthesizing measuring signals and processing responses for them to increase the reliability and efficiency of automated control of the technical state of radio navigation control complexes the movement of water transport

The article substantiates the direction and formulates the partial tasks of scientific research. To solve the set of partial problems in the work it is proposed to use the theory of sensitivity of dynamic systems, methods of variational calculus and dynamic programming, the theory of optimization of functions and the theory of matrices.

Real systems are designed to work within a defined range of signal values. In this range, the structure of a system with known accuracy is described by some operator. Therefore, the possible values of the signal are limited to the area within which the accuracy of the system operator's approximation is not less than the accuracy with which the parameters of the system are determined during the control process.

**Keywords:** means of water transport, radionavigation complexes, control of technical condition, measuring signals, synthesis, processing, traffic control, monitoring and diagnostic devices.

**УДК 621.311:620.97** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-17**

# ХАРАКТЕР БАЛАНСУВАННЯ ПОТУЖНОСТІ В ЛОКАЛЬНІЙ ЕНЕРГОСИСТЕМІ З ВІДНОВЛЮВАНИМИ ДЖЕРЕЛАМИ ЕНЕРГІЇ

**Кузнєцов М. П.[1], д. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-0497-7439**
**Лисенко О. В.[2], к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-7085-7796**
[1]*Ін-т відновлюваної енергетики НАН України,*
[2]*Таврійський державний агротехнологічний університет*,
[1] e-mail: nik_ku@ukr.net
[2] e-mail: helga_vl@ukr.net

***Анотація*** - метою роботи є вирішення задачі комплексного забезпечення електричною енергією з використанням мінливих за природою відновлюваних джерел енергії. Предметом дослідження є локальні енергосистеми регіонального чи муніципального рівня, що містять групи споживачів та додаткові джерела розосередженої генерації на базі вітрових чи сонячних електростанцій. Для ефективного використання потенціалу відновлюваної енергії потрібне врахування динамічних властивостей характеру споживання енергії, випадкової природи надходження вітрової та сонячної енергії. Одним з шляхів підвищення надійності енергозабезпечення повного використання генерованої енергії є застосування систем акумулювання. Для оцінки можливостей накопичення енергії та її використання в якості резерву запропоновано модель енергетичного балансу у формі суперпозиції випадкових процесів. Параметри математичної моделі визначаються на основі статистичного аналізу синхронних даних про режим споживання конкретним споживачем та погодних факторів, що визначають доступну потужність відновлюваних джерел. Прийнято, що графік постачання енергії складається на підставі прогнозу споживання електроенергії та погодних факторів. Вивчаються відхилення поточної генерації від прогнозованих потреб; вважаються добре прогнозованими середньодобові показники, а за їх відсутності за основу приймаються ретроспективні дані за тривалий час. Встановлено їх зв'язок з точністю прогнозу та варіативністю випадкових процесів генерування та споживання енергії. При цьому зазначено, що поточні флуктуації споживання і генерації на коротких часових інтервалах практично незалежні. За відомими показниками мінливості процесів споживання та генерації електроенергії можна підібрати характеристики акумулювання, такі як досяжна потужність та ємність, для надійного енергозабезпечення з заданою імовірністю.

***Ключові слова***: локальна енергосистема, відновлювана енергія, баланс потужності, випадковий процес, акумулювання енергії.

**Постановка проблеми.** Активна розбудова об’єктів електричної генерації на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) є одним з

© Кузнєцов М. П., Лисенко О. В.

головних напрямів розвитку сучасної енергетики. Широке впровадження відновлюваної енергетики є предметом ряду міжнародних угод та зобов'язань України. Енергетична стратегія України на період до 2035 року передбачає зростання частки електричної енергії з таких ВДЕ, як сонячна, вітрова та гідроенергетика, до 20%, і цей обсяг багатьма експертами вважається заниженим. Однак зростання частки ВДЕ вимагає посиленої уваги до можливостей енергосистеми із забезпечення належної надійності постачання [1], зважаючи на змінний і слабо прогнозований в короткостроковій перспективі характер видачі потужності, властивий вітровій та сонячній енергетиці. Це стосується і збалансованості динамічних процесів в системах електропостачання. Розосереджений характер розташування потужностей ВДЕ і їх наближення до кінцевого споживача дають змогу розглядати частину енергосистеми регіонального чи муніципального рівня як локальну. Такий режим генерування створює можливості для більш ефективного використання ВДЕ з одночасним покращенням якості постачання енергії на місцевому рівні.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблемі визначення якості роботи електроенергетичних систем присвячено значну кількість публікацій відомих наукових шкіл, однак поставлені задачі носять переважно детермінований характер і стосуються традиційної енергетики. Не менш важливими є питання узгодженої роботи відновлюваних та традиційних електростанцій з урахуванням того, що рівень споживання електроенергії також містить випадкову складову. Дослідження випадкового характеру потужності ВДЕ виконуються з початку активного розвитку відновлюваної енергетики. Однак існуючі підходи базуються в основному на осереднених даних та апараті детермінованих функцій. Моделювання роботи енергосистеми на основі стохастичних диференційних рівнянь було здійснено, зокрема, стосовно Північного енергетичного пулу (об'єднаної енергосистеми Норвегії, Швеції, Фінляндії) [2], однак вихідні умови дослідження істотно відрізнялися від особливостей роботи української енергосистеми.

**Постановка завдання**. Резервування генеруючих потужностей дозволяє уникнути недопоставок енергії, тобто компенсувати негативну складову небалансу [3]. Натомість позитивна (надлишкова) складова може бути збережена шляхом акумулювання, яке одночасно слугуватиме і як резерв потужності. Наявність значних обсягів ВДЕ збільшує імовірність відхилень генерації від графіка споживання, що робить більш актуальним використання технологій акумулювання. Оптимальність системи акумулювання визначається, виходячи з

обмежень на імовірність небалансу та допустимі його рівні (технологічна складова). Надалі необхідно буде брати до уваги також вартість обладнання та власне енергії, в тому числі враховуючи штрафні санкції за відхилення від графіка споживання (економічна складова). Отже, потрібен аналіз комплексного використання різнотипних джерел генерації, з оцінкою можливостей балансування поточної потужності та відповідних потреб у ємності акумулювання.

**Основна частина.** На відміну від резервування потужності, для якого важливим є розмах відхилень навантаження від графіка, для роботи акумуляторів енергії важлива також послідовність відхилень. Небаланс енергії як інтегральна характеристика небалансу потужності залежить від тривалості та знаку відхилень генерованої потужності від споживаної, а можливість накопичення певної енергії визначає потрібну ємність акумуляторів. Переходячи від значень небалансу потужності до кумулятивних обсягів незбалансованої енергії, можна визначити імовірність накопичення надлишкової енергії при різних рівнях інтеграції ВДЕ до даної локальної енергосистеми.

Приклади режимів споживання в Запорізькій області наведено в роботі [4], де співставлення рівнів споживання та генерації ВДЕ виконано на основі річного масиву синхронних даних щодо швидкості вітру, сонячної радіації і поточного споживання електроенергії різними споживачами. Зокрема, споживач М1 (окремий населений пункт) має середню потужність 700-1100 кВт залежно від пори року, споживач Т1-4 (група населених пунктів) – 4000-5000 кВт. Для переходу від погодних даних до потужності ВДЕ враховано нормовані енергетичні характеристики сучасних вітрових (ВЕС) та сонячних (СЕС) електростанцій.

Для розглянутих споживачів природний режим споживання (без ВДЕ) характеризується наявністю трендової лінії та випадкових відхилень від неї (флуктуацій поточної потужності). При цьому спостерігається відмінність між середньодобовими рівнями, а розподіл відхилень середньодобових значень відносно місячного тренду має нормальний характер [5]. Поточну потужність можна представити у вигляді

$$P(t) = \omega(t) + \sigma^* \varepsilon + U(t), \qquad (1)$$

де $\omega(t)$ – осереднене значення для заданого сезону (трендова крива);

$\sigma^*$ – стандартне відхилення середньодобових значень;

$\varepsilon$ – стандартна нормально розподілена випадкова величина.

$U(t)$ – стохастичний процес, що відображає флуктуації потужності.

Складова $\omega(t)$ може розглядатись як плановий графік генерації, з уточненням $\sigma^*\varepsilon$ як поправкою на прогноз середньодобового значення. Для визначення параметрів представлення випадкового процесу $U(t)$ застосовуються набори фактичних значень, зафіксованих протягом тривалого часу, достатнього для статистично стійких результатів. Цей процес описує відхилення від прогнозованого на наступну добу рівня (варіант прогнозування), або про відхилення від традиційного для даної пори року (чи місяця) режиму споживання, тобто варіант роботи без поточного прогнозування. При цьому прогноз середньодобових значень на практиці є досить точним [6, 7] (погодинний прогноз наразі не розглядається). Осереднені дані про потужність ВДЕ також можна вважати добре прогнозованими, а результуючі відхилення від графіка навантаження, складеного з урахуванням ВДЕ, вважати поточними небалансами потужності для конкретної доби:

$$p_i = (a_i - a_{i0}) - [(w_i - w_{i0}) + (s_s - s_{i0})], \qquad (2)$$

де $a_x$ – рівень споживання електроенергії;

$w_x$ та $s_x$ – потужності ВЕС та СЕС відповідно;

$i$ – індекс часу (в наведених нижче прикладах крок по часу 30 хв.).

Показники з 0-індексом – осереднені на певну годину дня (добовий хід), зокрема $a_{i0}$ має відповідати плановому графіку споживання.

Переходячи до кумулятивних обсягів потужності, що розглядаються як незбалансована енергія (з урахуванням часових інтервалів), розглянемо імовірність накопичення та використання певних обсягів енергії. Спочатку розглянемо варіант щоденного прогнозування, коли добовий баланс зводиться з нульовим підсумком (добова циклічність). Приклади зміни кумулятивного небалансу енергії для трьох послідовно взятих днів січня (споживач М1) зображено на рис.1. Очевидно, середні рівні небалансу енергії для різних днів можуть мати різні знаки, залежно від послідовності значень небалансу потужності. Так, 21-го спочатку спостерігався дефіцит генерації, компенсований до кінця доби (середній баланс негативний), 23-го – спочатку був надлишок (позитивний баланс), а 22-го режим споживання був близьким до графіка.

На рис. 2 зображено послідовність середньодобових небалансів енергії впродовж місяця, яка виглядає як випадкова величина.

Розподіл поточних значень кумулятивного небалансу енергії (за умови добової циклічності) зображено на рис.3. Розподіл близький до нормального.

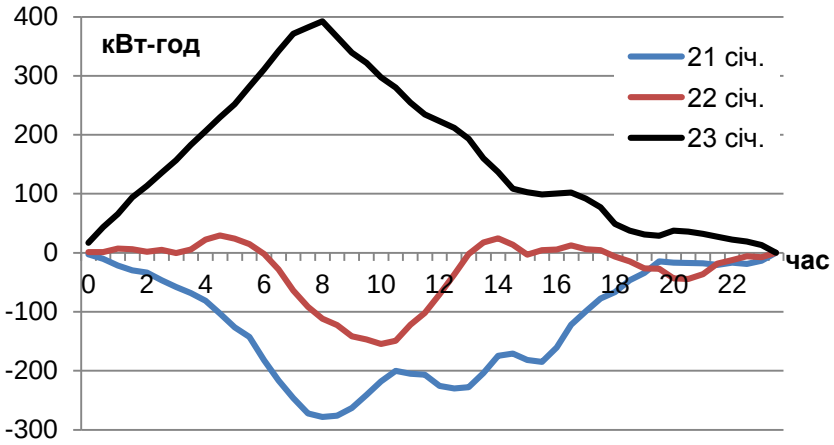



Рис. 1. Небаланси енергії навантаження протягом доби

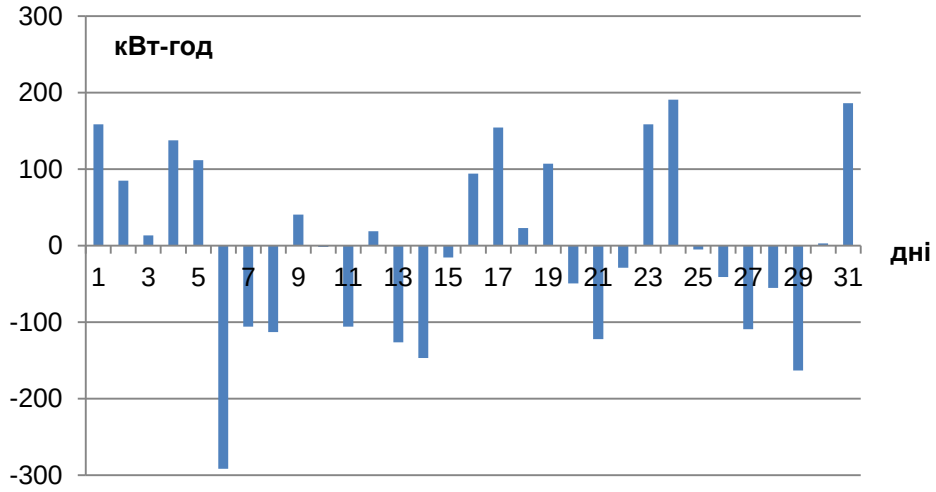



Рис. 2. Середньодобові небаланси енергії (М1, січень)

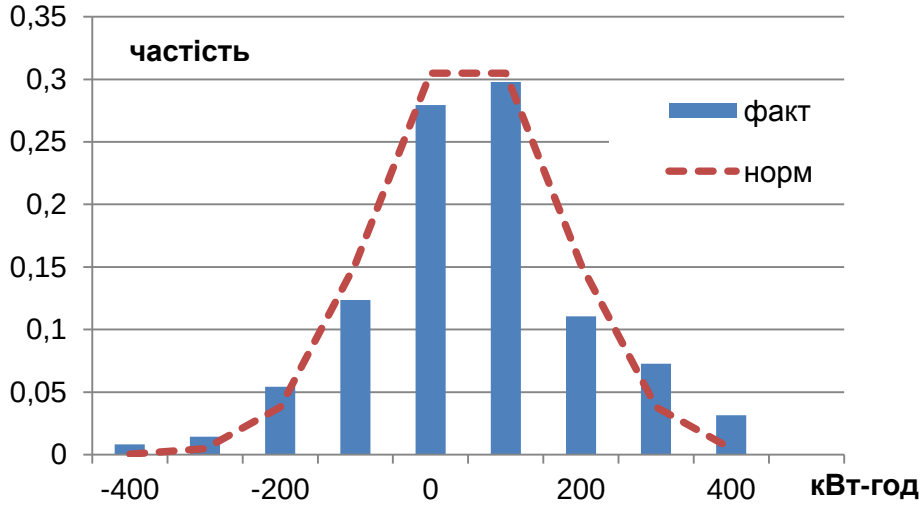



Рис. 3. Розподіл кумулятивного небалансу енергії (М1, січень)

За умови відсутності поточного прогнозування графік роботи енергосистеми базується на багаторічних статистичних даних,

приведених до середньомісячних показників. Отже, плановий графік споживання має відповідати місячним значенням, відповідно отримаємо місячну циклічність небалансів потужності та енергії. Режим балансування енергії для даних за січень зображено на рис.4.

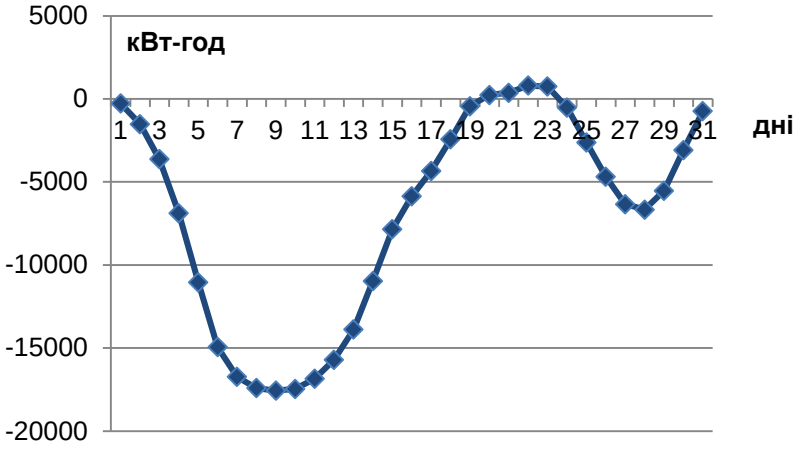



Рис. 4. Кумулятивний небаланс енергії без добового прогнозу (М1)

В даному прикладі на початку місяця спостерігався дефіцит потужності відносно середньомісячних значень, який потім було компенсовано зменшенням навантаження у другій декаді. Гістограму поточних рівнів кумулятивного небалансу енергії для варіанту без прогнозу (місячна циклічність) зображено на рис.5.

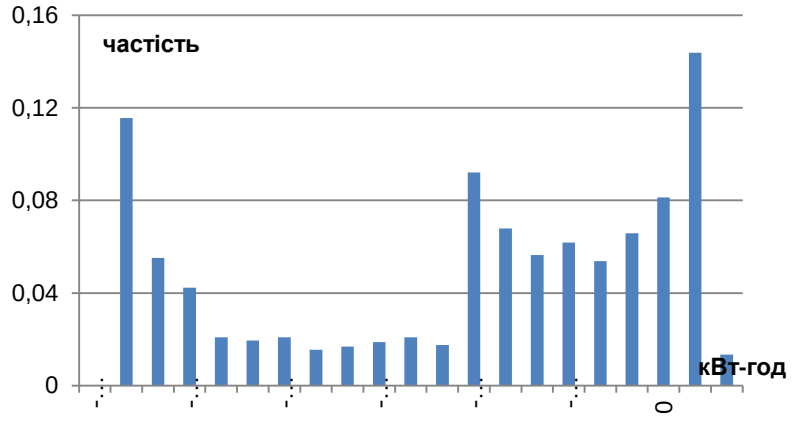



Рис. 5. Розподіл кумулятивного небалансу без добового прогнозу (М1)

Розподіл в даному випадку несиметричний, відмінний від нормального і скоріше нагадує «білий шум», хоча помітно значні відхилення від середнього значення. При рівномірному розподілі СКВ мало б становити 5500, а по факту маємо 9300 (кВт-год).

Для даних за липень характер гістограми розподілу аналогічний зимовому; при рівномірному розподілі СКВ мало б становити 3720 (кВт-год), а по факту маємо 3790. Для літнього місяця кумулятивний небаланс мав переважно позитивні значення (надлишкову генерацію), тобто ситуація протилежна зимовій. Насправді це лише відмінності між першою та другою половинами місяця, тобто знак кумулятивного небалансу залежить від точки відліку. Якщо порівняти синхронний хід накопичення незбалансованої енергії різними розташованими поряд споживачами, наприклад М1 та Т1-4, він може суттєво різнитися – в одному випадку баланс є переважно від'ємним, в іншому додатним, тобто випадковим чином залежить від початку відліку. Натомість характер розподілу для різних випадків схожий, і подібний до рівномірного.

Якщо порівняти характер накопичення незбалансованої енергії при наявності ВДЕ при синхронному порівнянні погодних умов, то діапазон імовірних значень зміщується. При складанні випадкових процесів як набору випадкових величин дисперсія суми визначається як сума окремих складових [8]

$$\sigma_{\Sigma}^2 = D(p_{ij}) = D(a_{ij}) + D(w_{ij}) + D(s_{ij}) + 2[\mathrm{cov}(a,w) + \mathrm{cov}(a,s) + \mathrm{cov}(w,s)]. \quad (3)$$

Зазначимо, що кореляція значень потужності споживання та генерації ВДЕ досить незначна [4]. Короткотермінові флуктуації в загальному випадку можна вважати незалежними, тобто cov($x$,$y$)=0. При відомих СКВ для споживання ($\sigma_0$) вітрової ($\sigma_w$) та сонячної ($\sigma_s$) складових сумарне СКВ ($\sigma_\Sigma$) небалансу поточної потужності: $\sigma_{\Sigma}^2 = \sigma_0^2 + \sigma_w^2 + \sigma_s^2$. Для визначення параметрів сумарного випадкового процесу $p_i$ (2) при різних рівнях впровадження ВДЕ скористаємось значеннями розрахункової потужності відповідно до погодних умов.

Дисперсія небалансу енергії повинна враховувати інтервал часу $\Delta t$, на якому визначено середній небаланс потужності, та тривалість $T$ загального часу накопичення, де $T=n\cdot\Delta t$. Для розрахунку дисперсії кумулятивних значень небалансу потужності, тобто накопичення енергії, можна скористатися залежностями [9]:

$$D_E = \sigma_K^2 \approx \left( \frac{\sigma_0^2}{(1-\alpha)^2} + \frac{n\eta^2}{2(1-\alpha^2)} \right) (\Delta t)^2 . \quad (4)$$

де параметри $\alpha$, $\eta$ характеризують випадковий процес небалансу:

$$p_i = \alpha p_{i-1} + \eta \varepsilon_i \ . \quad (5)$$

Тут процес (5), що описує поточні відхилення від прогнозованого значення, розглядається як дискретна модель блукання, в якому поточні значення знаходяться в певному коридорі відносно середнього. Константа $\alpha$ може розглядатися як параметр авторегресії, а $\eta$ – СКВ похибок [10]; вони розраховуються за значеннями $\sigma_0$ та $\sigma_s$. Застосовуються набори даних, зафіксованих протягом тривалого часу, достатнього для отримання статистично стійких результатів.

При моделюванні місячного обсягу кумулятивної енергії окремі дні можна розглядати як незалежні реалізації процесу. Якщо при цьому робити добавку міждобових відхилень (адитивну складову кожної доби), то це може розглядатися як перехід від прогнозованого накопичення (добової циклічності) до непрогнозованого – тобто з урахуванням міждобових варіацій. Результуюча дисперсія буде рівна сумі добових, характер розподілу при складанні не грає ролі.

Запропонована математична модель дозволяє розрахувати параметри дисперсії небалансів поточної потужності та накопиченого небалансу енергії, що в межах прийнятих гіпотез про характер розподілу цих випадкових величин дає можливість визначити їх максимальні з заданою імовірністю значення, довірчі інтервали небалансів, тощо. Такі розрахунки потрібні як для визначення індексів надійності енергосистеми та очікуваних втрат енергії й споживання, так і для оптимального вибору систем акумулювання енергії. При виборі акумуляторів їх номінальна потужність може оцінюватися за величиною $\kappa_\gamma\sigma_\Sigma$, а ємність – $\kappa_\gamma\sigma_K$, де $\kappa_\gamma$ – квантиль порядку $\gamma$, тобто $Prob\{p_i < \kappa_\gamma\sigma\}=\gamma$.

Розглянемо приклади вибору акумуляторів за різних умов роботи енергосистеми. Нехай традиційне споживання має параметри $\sigma_0$=35 кВт, $\sigma_K$=152 кВт-год (споживач М1, місяць січень), прогнозування щоденне. Для довірчої імовірності $\gamma$=0,9 при нормальному розподілі маємо $|\kappa|_{0,9}= \kappa_{0,95}$=1,65. Отже, гарантоване з імовірністю не нижче 90% збереження надлишкової енергії для забезпечення нульового балансу потужності потребує ефективної ємності акумулювання 250 кВт-год та потужності 58 кВт.

При наявності ВДЕ, наприклад, при наявності 200 кВт ВЕС та такої ж СЕС матимемо $\sigma_\Sigma$=55 кВт, $\sigma_K$=244 кВт-год. Тоді за тої ж довірчої імовірності $\gamma$=0,9 матимемо потребу в ефективній ємності акумулювання 400 кВт-год та потужності 90 кВт. Отже, додаткова потреба в потужності акумулювання складе 32 кВт, або 8% від потужності ВДЕ.

**Висновки**. За відомими показниками мінливості процесів споживання та генерації електроенергії, отриманими з оцінки статистичних даних, можна підібрати характеристики акумулювання для енергозабезпечення з заданою імовірністю. Пропонована схема дозволяє оцінити порядок величин, їх взаємозалежність, та порівнювати варіанти побудови енергосистеми при різних рівнях її локалізації. Модель небалансу може бути отримана статистичним аналізом даних щодо конкретного споживача та відповідних природних факторів. Важливим фактором є також можливість прогнозування поточного споживання електроенергії і інтенсивності вітрової й сонячної енергії. Так, наявність прогнозу хоча б середньодобового рівня потужностей дозволяє в півтора рази збільшити обсяг впровадженої відновлюваної енергії при збереженні стабільності енергопостачання.

**Список використаних джерел**

1. *Кузнецов Н. П., Лысенко О. В*. Вероятностные аспекты использования возобновляемых источников энергии на пустующих и непригодных для сельского хозяйства территориях. *Topical researches of the World Science: Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference (June 28, 2017, Dubai, UAE).* С. 45-51.

2. *Olsson M., Perninge M., Soder L.* Modeling real-time balancing power demands in wind power systems using stochastic differential equations. *Electric Power Systems Research.* 2010. № 80. P. 966-974.

3. *Кузнецов Н. П*. Оценка влияния ВЭС на размер резервных мощностей энергосистемы. *Альтернативная энергетика и экология*. 2014. № 15. С. 50-54.

4. *Лисенко О. В*. Оцінка випадкових властивостей рівнів споживання електроенергії . *Відновлювана енергетика*. 2018. № 1. С. 26-35.

5. *Кузнєцов М. П.* Побудова математичної моделі режиму споживання електроенергії. *Відновлювана енергетика*. 2017. № 4. С. 33-42.

6. *Кузнєцов М. П., Лисенко О. В*. Можливості короткотермінового прогнозування сонячної енергії. *Відновлювана енергетика*. 2017. № 1. С. 25-32.

7. *Кузнєцов М. П.* Особливості короткотермінового прогнозування потужності ВЕС. *Відновлювана енергетика та енергоефективність у XXI столітті:* матеріали XVIII Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 27-29 вересня 2017). Київ, 2017. С. 497-500.

8. *Вентцель Е. С.* Теория вероятностей. Москва: Academia, 2003. 576 с.

9. *Kuznietsov M., Vyshnevska Y., Brazhnyk I., Melnyk O.* Modeling of the Generation-Consumption Imbalance in the Heterogeneous Energy Systems with Renewable Energy Sources. *2019 IEEE 6th International Conference on Energy Smart Systems*. Kyiv, 2019. P. 196-200.

10. *Миллер Б. М., Панков А. Р.* Теория случайных процессов в примерах и задачах. Москва: Физматлит, 2002. 320 с.

## ХАРАКТЕР БАЛАНСИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ЛОКАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ С ВОЗОБНОВЛЯЕМЫМИ ИСТОЧНИКАМИ ЭНЕРГИИ

**Кузнецов Н. П., Лысенко О. В.**

***Аннотация*** - целью работы является решение задачи комплексного обеспечения электрической энергией с использованием изменчивых возобновляемых источников энергии. Предметом исследования являются локальные энергосистемы регионального или муниципального уровня, содержащие группы потребителей и дополнительные источники рассредоточенной генерации на базе ветровых или солнечных электростанций. Для эффективного использования потенциала возобновляемой энергии нужен учет динамических свойств характера потребления энергии, случайной природы поступления ветровой и солнечной энергии. Одним из путей повышения надежности энергообеспечения и более полного использования генерируемой энергии является применение систем аккумулирования. Для оценки возможностей накопления энергии и дальнейшего ее использования предложена модель энергетического баланса в форме суперпозиции случайных процессов. Параметры математической модели определяются на основе статистического анализа синхронных данных о режиме потребления конкретным потребителем и погодных факторов, определяющих доступную мощность возобновляемых источников. Принято, что график поставки энергии составляется на основании прогноза потребления электроэнергии и погодных факторов. Изучаются отклонения текущей генерации от прогнозируемых потребностей; считаются хорошо прогнозируемыми среднесуточные показатели, а при их отсутствии за основу принимаются ретроспективные данные за продолжительное время. Установлена их связь с точностью прогноза и вариативностью случайных процессов генерации и потребления энергии. При этом отмечено, что текущие флуктуации потребления и генерации на коротких временных интервалах практически независимы. По известным показателям изменчивости процессов потребления и генерации электроэнергии можно подобрать характеристики аккумулирования, такие как достижимая мощность и емкость, для надежного энергообеспечения с заданной вероятностью.

***Ключевые слова***: локальная энергосистема, возобновляемая энергия, баланс мощности, случайный процесс, аккумулирование энергии.

# FEATURES OF POWER BALANCING IN THE LOCAL ENERGY SYSTEM WITH RENEWABLE ENERGY SOURCES

**N. Kuznetsov, O. Lysenko**

***Summary***

The aim of the work is to consider the problem of the complex electricity supply with using of changeable renewable energy sources. Local energy systems of a regional or municipal level is the subject of this research, containing consumer groups and additional sources of dispersed generation based on wind or solar power. To effectively use the potential of renewable energy, we need to take into account the dynamic properties of energy consumption, the random nature of the wind and solar energy. One of the ways to improve the reliability of energy supply and more fully utilize of the generated energy is to use the storage systems. To assess the possibilities of energy storage and its further use, a model of energy balance in the form of a superposition of random processes is proposed. The parameters of a mathematical model are determined on the basis of a statistical analysis of synchronous data about the mode of consumption by a specific consumer and weather factors that determine the available power of renewable sources. It is accepted that the energy supply schedule is compiled based on the forecast of electricity consumption and weather factors. Current generation deviations from projected needs are examines; average daily indicators are considered to be well predicted, and in their absence, retrospective data for a long time are taken as a basis. Their connection with the forecast accuracy and variability of random processes of energy generation and consumption has been established. It was noted that the current fluctuations in consumption and generation over short time intervals are practically independent. According to the known indicators of the variability of the electricity consumption and generation processes it is possible to choose the characteristics of accumulation, such as achievable power and capacity, for reliable energy supply with a given probability.

***Keywords***: local power system, renewable energy, power balance, random process, energy storage.

**УДК 631.52:681.586.4** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-18**

# АКУСТИЧНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ФОРМИ ВНУТРІШНІХ ПОШКОДЖЕНЬ РОСЛИННИХ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

**Яковлєв В. Ф., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-5261-4432**
*Сумський національний аграрний університет*
e-mail: kfizika@ukr.net

***Анотація*** - отримання продукції сільського господарства високої якості вимагає забезпечення технологічного процесу (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і кінцевих операціях.

Для оцінки якісних і кількісних ознак сільськогосподарської продукції застосовуються різні фізичні методи (органолептичні, оптичні, електричні, фізико-механічні, хімічні та ін.), з великого числа яких, особливе місце займають акустичні методи (зокрема, імпульсні методи), що дуже інтенсивно розвиваються нині. Однією з причин широкого поширення акустичних методів полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками. Це дозволяє глибше дослідити зв'язок між якісними ознаками, а саме, визначення наявності внутрішніх пошкоджень в об’єктах фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, сформулювати основні принципи побудови технічних засобів неруйнівного експресного контролю в технологічному потоці.

В статті обґрунтовано можливість побудови просторової моделі тракту зондування біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми з внутрішніми пошкодженнями, основні рівняння зв’язку параметрів післядії ударного збудження цих об'єктів з формою, об’ємом і глибиною залягання внутрішніх пошкоджень, теоретична база проведення експериментальних досліджень і можливість технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції. Наведено акустичну модель тракту, з урахуванням впливу компонентів структури непошкодженої частини об’єктів та зонами пошкоджень різних стадій розвитку. Наведено приклад реалізації тракту зондування з постійними базовими параметрами.

***Ключові слова:*** акустичний сигнал, система сферичних координат, ударне збудження, коефіцієнт поглинання, частота, швидкість звуку, мода коливань, компоненти структури, просторова модель, тракт акустичного зондування, експресний неруйнівний контроль.

**Постановка проблеми.** Стандарти на продукцію сільського господарства вимагають забезпечення технологічних процесів (виробництва, переробки, зберігання) достатнім рівнем якісних ознак початкової сировини, контролем якості продукції на проміжних і

© Яковлєв В. Ф.

кінцевих операціях. До таких якісних ознак, а саме, рослинних біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми відносяться: зрілість, цілісність, наявність тріщин, загнивання (внутрішніх та на поверхні об’єкту), місць поразки захворюваннями, які можуть виникати як у період дозрівання на кореню, так і під час збору, транспортуванні, навантаженні і розвантаженні продукції та виконанні інших операцій.

Показники якості продукції встановлених стандартами передбачають у своїй більшості, або органолептичні методи оцінки, що вимагають певних навичок від особи, що виконує контроль, або хімічні методи аналізу, які потребують значних витрат часу на їх проведення. Це не дозволяє оперативно управляти технологічним процесом. Крім того, в існуючих методах і засобах контролю практично не знаходить відображення взаємозв'язок принципів організації технологічних операцій із станом продукту, тобто з його біофізичними параметрами. Поки ще в окремих випадках в стандарти вводяться фізико-хімічні показники, визначувані експрес - методами за допомогою технічних засобів.

Для забезпечення високої якості продукції сільського господарства потрібні надійні і оперативні технічні засоби, що дозволяють проводити експресний фізико-біохімічний аналіз. Рішення цієї складної задачі можливе лише при широкому впровадженні сучасних і розробці нових методів і технічних засобів, що дозволяють автоматизувати не лише процес виміру якісних ознак продукту, але і технологічний процес в цілому.

Тому наукові дослідження, які спрямовані на створення ефективних технічних засобів, що забезпечують не лише високу точність інформації про якісні ознаки, але і екологічно чистих, енерго- і ресурсозберігаючих технологічних систем зондування і обробки сільськогосподарської продукції актуальні і мають важливе народногосподарське значення.

Такі технічні системи можна створювати, використовуючи акустичні методи (зокрема, імпульсні методи), що дуже інтенсивно розвиваються нині. Однією з причин широкого поширення акустичних методів полягає в тому, що властивості продуктів (як біологічних об'єктів), що визначають збудження і поширення пружних коливань, тісно пов'язані з їх анатомічною структурою і фізико-біохімічними характеристиками і можуть бути відображені в просторі параметрів акустичного поля [1, 6, 8, 9, 10].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Цілий ряд вчених внесли суттєвий вклад в дослідження, які пов'язані із застосуванням

акустичних методів контролю, досліджень по вивченню взаємозв'язків якісних і кількісних ознак сільськогосподарських продуктів з параметрами акустичного поля. Проте, необхідно відмітити, що як технічні засоби, так і технологічні установки з використанням акустичного поля не мають промислових аналогів і знаходяться у стадії проектно-конструкторських розробок і досліджень або, у кращому разі, мають макетні зразки.

Аналіз наведених в джерелах інформації результатів досліджень свідчить проте, що незважаючи на велику кількість робіт, які присвячені пошуку методів та розробці електроакустичних систем експресного аналізу якості сільськогосподарської продукції, а саме визначення наявності внутрішніх пошкоджень біологічних об’єктів рослинного походження, більшість з яких не має глибоких теоретичних проробок, що дозволяють з єдиних позицій підійти до питань проектування названих систем, прогнозувати отримання визначеного технічного або економічного ефекту, систематизувати та уніфікувати систему технічних засобів експрес-контролю. Налічувані в літературних джерелах свідчення по дослідженням фізико-математичних моделей, теоретичних передумов описання процесів збудження продукту і зняття інформативного сигналу щодо якісних ознак роздрібнено, а порою протилежні і недостатні для їх узагальнення та практичної реалізації. Дослідження, що ведуться, спрямовані на підвищення ефективності використання акустичного поля в сільгоспвиробництві не відображають можливості, що відкриваються від їх комплексного застосування в структурі системи технологічного процесу і технічного засобу. Ці дослідження торкаються окремих діапазонів акустичного поля і не взаємозв'язаних операцій і, отже, їх результати не можуть зробити достатнього впливу на увесь комплекс технічного і методичного забезпечення застосування акустичного поля для досягнення необхідної якості технологічного процесу в сільськогосподарському виробництві і, зокрема, технологіях переробки сільгосппродукції [1,5].

Викладене вище визначає мету та основні задачі досліджень і дозволяє глибше дослідити зв'язок між якісними ознаками, а саме визначення наявності внутрішніх пошкоджень, продуктів фіксованої геометричної форми і параметрами акустичного зондування, сформулювати основні принципи побудови технічних засобів неруйнівного експресного контролю в технологічному потоці.

**Формулювання мети статті.** Обґрунтування можливості побудови просторової моделі тракту зондування біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми з внутрішніми пошкодженнями,

основних рівнянь зв’язку параметрів післядії ударного збудження цих об'єктів з формою, об’ємом і глибиною залягання внутрішніх пошкоджень, підготовки теоретичної бази проведення експериментальних досліджень і можливості технічної реалізації пристроїв експресного неруйнівного контролю якісних ознак сільськогосподарської продукції.

**Основні матеріали досліджень.** Як відомо, в період дозрівання на кореню, збору, транспортуванні, навантаженні і розвантаженні та інших операцій в біологічних об’єктах фіксованої геометричної форми можуть виникати локальні (визначених розмірів по поверхні і об’єму) механічні пошкодження: тріщини, загнивання (внутрішні та на поверхні об’єкту), місця поразки захворюваннями, що є одною із ознак не відповідності стандарту якості даного виду продукту. Особливий інтерес представляє можливість визначення наявності механічних пошкоджень та захворювань на стадії сортування, тобто безпосередньо після збору об’єктів та перед завантаженням на технологічну переробку.

Вище було відмічено, що для визначення якісних ознак продуктів застосовуються різні методи контролю, із яких найбільш перспективними є акустичні, основна перевага яких заключається в точності, швидкості, можливості вимірювання без зупинки виробничих процесів [1].

Проведеними експериментальними дослідженнями [3,4,9,10]. встановлено, що компоненти структури пошкоджених ділянок рослинних біологічних об’єктів мають відмінні від здорових та непошкоджених ділянок фізико-механічні параметри (щільність, пружність та ін). Ця відмінність, безпосередньо та в значній мірі, буде впливати на картину акустичного поля при трансформації зондуючого сигналу через досліджуваний біологічних об’єктів. А це, в свою чергу, дає можливість по картині акустичного поля оцінювати наявність внутрішніх пошкоджень, їх форм та об’ємів.

З урахуванням поставленої задачі контролю якісних ознак біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми, а саме, визначення наявності механічних пошкоджень та захворювань, місць знаходження пошкоджень та їх форми по параметрам акустичного поля необхідно розглянути наступні питання: моделювання видів пошкоджень; визначити тип зондуючого сигналу; визначення точки збудження об’єкту та точки зняття інформації; трансформацію зондуючого сигналу через біологічний об’єкт; визначення картин акустичного поля при наявності різних видів пошкоджень.

В роботах [1,6,8,9,10] було визначено, важливі для розглядуваного питання, тип зондуючого сигналу; точки збудження об’єкту та точки зняття інформації; трансформацію зондуючого сигналу через біологічний об’єкт; визначення картин акустичного поля рослинних біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми різного ступеню зрілості та наявності поверхових видів пошкоджень. Встановлено також, що найбільш приємним для збудження хвильових процесів є імпульсна дія на об’єкт, а зняття інформаційного сигналу здійснювати по його периметру.

При розрахунках акустичного поля біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, які мають внутрішні пошкодження, необхідно враховувати акустичну модель внутрішньої структури об’єкту, що характеризує її відбиваючі та поглинаючі властивості. В свою чергу, акустичні властивості компонентів структури об’єктів (кори, м’якоті, плаценти з насінням, області пошкоджень тканин, повітряні порожнини), які визначаються, поперед усього, просторовою моделлю складових компонентів, тобто сукупністю їх геометричних характеристик.

При акустичному моделюванні структури об’єкту геометричні характеристики компонентних зон передбачаються постійними у конкретному досліджуваному об’єкті, тобто на всій протяжності акустичного тракту. Тоді коефіцієнти відбиття звуку від компонентної зони не зміняться вдовж тракту проходження зондуючого сигналу, тобто зона є акустично однорідною. Ці передумови прийняті і для фізико-механічних характеристик компонентів структури біологічних об’єктів фіксованої геометричної форми (**E, μ, K, ρ**). Така модель об’єкту в практичному додатку фізично виправдана.

Суттєво інша ситуація має місто у випадку наявності внутрішніх пошкоджень об’єктів та різниці їх ступеню зрілості. Внаслідок різниці у фізико-механічних та біохімічних властивостей об’єктів різних фракцій по стиглості, а також у зв’язку з наявністю пошкоджених ділянок, просторова структура характеризується наявністю значної неоднорідності та сортовою відмінністю [4,9]. Для зрілої фракції об’єктів характерна наявність таких зон, як оболонка, що створюється корою ( в залежності від розмірів та сорту об’єктів, товщина якої змінюється в інтервалі 0,6…2,5 см), м’якоті, плаценти з насінням, що мають різну товщину та нерівномірність фізико-механічних характеристик по об’ємній протяжності. Можливо наявність газової порожнини в центральній частині об’єкту у стадії перезрівання.

У ще більшій ступені змінність просторових, та як наслідок, акустичних характеристик спостерігається в об’єктах з наявністю зон

пошкодження. Крім того, спостерігається змінність геометричних та фізико-механічних характеристик на границях розділу вище названих зон, які неможливо окреслити однозначно.

У даній роботі побудовано просторові моделі компонентних зон, характеристики яких визначаються щільністю перерізу пошкодження, площиною перерізу пошкодження та глибиною (протяжністю) пошкодження. Крім того, враховано наявність (поперед та за) різної протяжності непошкоджених компонентів зон, які впливають на сумарну відбиваючу здібність пошкодження і глибину його розміщення.

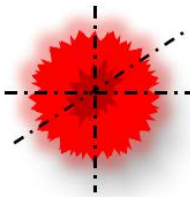
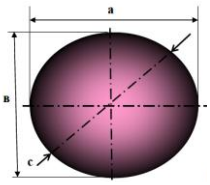
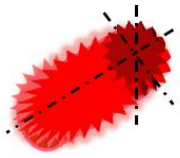
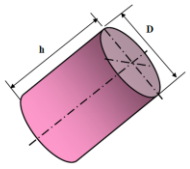
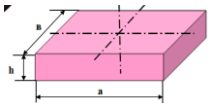
Для побудови просторової та, відповідно, акустичної моделі об'єкту з пошкодженням запропоновано виділяти зони, у границях яких зберігаються практично незмінними основні (базові) параметри пошкоджень: стадії розвитку пошкодження, щільністю перерізу та геометричні характеристики. Кожна зона (в площині екваторіального перерізу об'єкту) характеризується середнім коефіцієнтом відбиття звуку в інтервалі зміни діаметру об'єкту $\mathbf{D^{min} \ldots D^{max}}$ у даній класифікації по ступеню зрілості. Таким чином, акустично неоднорідна компонентна зона замінюється частково однорідною, яка складається із кінцевої кількості послідовно з'єднаних компонентних зон, у границях яких коефіцієнт відбиття є постійним, але змінюється від площі екваторіального перерізу об'єкту.

Тоді просторова модель пошкоджень може бути представлена у вигляді послідовності площин екваторіального перерізу $\mathbf{F_i}$, у якої задані наступні характеристики пошкоджень: площа перерізу пошкодження (паралельно екваторіальному та нормального до напрямку зондуючого сигналу) $\mathbf{\Delta S_{ij} = S_{ij}^{min} - S_{ij}^{max}}$, щільність перерізу пошкодження $\mathbf{\Delta \rho_{ij} = \rho_{ij}^{min} - \rho_{ij}^{max}}$ кожної із стадій розвитку пошкодження та протяжністю пошкодження $\mathbf{\Delta h_{ij} = h_{ij}^{min} - h_{ij}^{max}}$, де індекс **i** – характеризує номер площі екваторіального перерізу $\mathbf{F_i}$, а індекс **j** – стадію розвитку пошкодження. Слід відмітити, що урахування в просторовій моделі тих чи інших стадій розвитку і форми пошкодження в значній мірі визначається діапазоном частот, що використовуються при акустичному зондуванні.

Типи можливих моделей внутрішніх пошкоджень з урахуванням прийнятих формулювань наведено на рисунках таблиці 1.

Таблиця 1

**Типи можливих моделей внутрішніх пошкоджень рослинних біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми**

| Тип пошкодження | Просторові характеристики | Площа екваторіального перерізу біологічного об'єкту, $\mathbf{F_{ср}}$ | Відношення розмірів пошкодження | Загальний вигляд пошкодження | Просторова модель пошкодження |
|---|---|---|---|---|---|
| **Сфера** | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min}\ldots\rho_{ij}^{max}$ 904,0…978,5 кг/м$^3$ | a:в:c = 1,06:1,0:1,0 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $\mathbf{S_{ij}^{min}\ldots S_{ij}^{max}}$ $\mathbf{S=\pi a^2/4}$ 38,5…176,6 мм$^2$ | a:в:c = 1,06:1,0:1,0 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $\mathbf{h_{ij}^{min}\ldots h_{ij}^{max}}$ 7 … 15 мм | a:в:c = 1,06:1,0:1,0 | | |
| **Циліндр** | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min}\ldots\rho_{ij}^{max}$ 904,0…978,5 кг/м$^3$ | D : h = 1: 2 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $\mathbf{S_{ij}^{min}\ldots S_{ij}^{max}}$ $\mathbf{S=\pi D^2/4}$ 4,9…44,2 мм$^2$ | D : h = 1: 2 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $\mathbf{h_{ij}^{min}\ldots h_{ij}^{max}}$ 5 … 15 мм | D : h = 1: 2 | | |
| **Пластина** | Щільність перерізу | $\rho_{ij}^{min}\ldots\rho_{ij}^{max}$ 904,0…978,5 кг/м$^3$ | a:в:h =1,0:1,0 (0,5):0,25 |  |  |
| | Площа перерізу пошкодження | $\mathbf{S_{ij}^{min}\ldots S_{ij}^{max}}$ $\mathbf{S=a\cdot в}$ 72,0…392,0 мм$^2$ | a:в:h =1,0:1,0 (0,5):0,25 | | |
| | Протяжність (глибина) пошкодження | $\mathbf{h_{ij}^{min}\ldots h_{ij}^{max}}$ 3 … 7 мм | a:в:h =1,0:1,0 (0,5):0,25 | | |

В якості ілюстрації, нижче наведено приклад використання акустичного методу, який дозволяє отримати картину внутрішньої структури біологічного об'єкту фіксованої геометричної форми (наприклад, сферичної форми), при дії на об'єкт в певній точці гармонійної сили або одиночного імпульсу. В результаті, як всередині, так і на поверхні об'єкта виникають коливання, які характеризуються коливальною швидкістю **U** і звуковим тиском **P**. Для якісних біологічних об'єктів картина акустичного поля поверхні має певний характерний вигляд (рисунок 1 а, в). У разі наявності внутрішніх або поверхневих пошкоджень картина поля істотно

змінюється (рисунок 1 б, г) за рахунок розсіювання і часткового поглинання енергії звукової хвилі на зустрічному дефекті. Так як пошкодження можуть мати різну форму і об'єм, займаний всередині об'єкта (рисунок 1б), то можливі дефекти, з певним ступенем наближення, змодельовані в сукупність геометричних тіл (сфера, циліндр, пластина т. і. (див. рисунки табл. 1). Експериментальними дослідженнями встановлено, що характеристики компонентів структури плодів (**ρ** - щільність, **α,μ** - коефіцієнти пружності пошкоджених тканин) значною мірою відрізняються від якісних структур [8,9,10]. Це розходження проявляється і в параметрах акустичного поля.

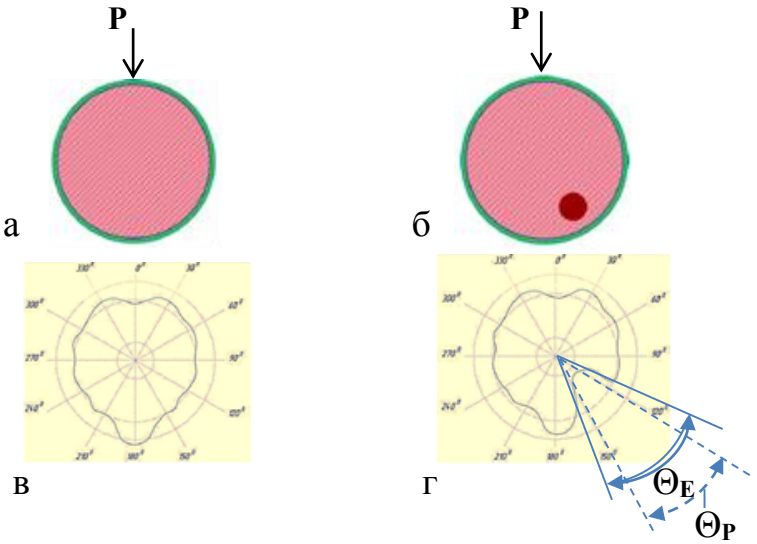



Рис. 1. Полярні діаграми коливань біологічного об’єкту, фіксованої геометричної форми: а, в – непошкодженого; б, г – який має внутрішнє пошкодження типу «сфера»

Функція, що задовольняє хвильовому рівнянню:

$$\mathbf{\Delta\Phi - \frac{1}{c^2}\frac{\partial^2\Phi}{\partial\tau^2} = 0,} \qquad (1)$$

граничним умовам та умовам випромінювання при пошкоджені типу «сфера», з урахуванням положень [2,7] складається із сукупності функцій, які визначають падаючу $\mathbf{\Phi_п\ (r,\ \tau)}$ і розсіяну $\mathbf{\Phi_р\ (r,\ \tau)}$ хвилі:

$$\mathbf{\Phi(r,\tau) = \Phi_п(r,\tau) + \Phi_р(r,\tau)} \qquad (2)$$

де $\mathbf{\Phi, \Phi_п, \Phi_р}$ – відповідно, потенціали швидкості сумарної, падаючої та розсіяної хвиль; **r** – радіус-вектор; **τ** – час.

Застосовуючи розклад сумарної хвилі в ряд по поліномам Лежандра та використовуючи сферичні функції Бесселя і Ханкеля **m**-го порядку, рівняння (2) можна представити в розгорнутому вигляді наступним виразом:

$$\Phi = e^{j\omega\tau}\sum_{n=0}^{\infty}(2m+1)J^{-m}P_m\cos\theta\,[D_m^{J'}(kr)\varphi_m^{J'}(kr) + \left(\frac{D_m^{J'}(kr)}{-JD_m^{H'}(kr)}\right)\left(\frac{\varphi_m^{J'}(kr)}{\exp(-J\varphi_m^{H'}(kr)}\right)\left(-JD_m^{H'}(kr)e^{-j\varphi_m^{H'}(kr)}\right)], \quad (3)$$

де $D_m^{J'}(kr)$, $\varphi_m^{J'}(kr)$ – відповідно, модуль і фаза функції Бесселя **(J)** і Ханкеля **(H)** та їх похідних (J′ , H′); **k** – хвильове число; **ω** – кутова частота; **τ** – час.

Коливальна швидкість поверхні об'єкту для даного випадку буде мати наступний вигляд:

$$\dot{U}_{r=a} = -ke^{-j\omega\tau}\sum_{n=0}^{\infty}(2m+1)J^{-m}P_m\cos\theta\,[D_m^{J'}(kr)\varphi_m^{J'}(kr) + \left(\frac{D_m^{J'}(kr)}{-JD_m^{H'}(kr)}\right)\left(\frac{\varphi_m^{J'}(kr)}{\exp(-J\varphi_m^{H'}(kr)}\right)\left(-JD_m^{H'}(kr)e^{-j\varphi_m^{H'}(kr)}\right)]. \quad (4)$$

Після відповідних підстановок, перетворень та з урахуванням зміни радіус-вектора **r** по визначеній залежності, отримано вираз для розрахунку значень коливальної швидкості поверхні об'єкту при наявності внутрішнього пошкодження типу «сфера»:

$$\dot{U} = \frac{1,4}{r^*}[1 + 1,2\sqrt{\cos^2\theta + 12,9\operatorname{ctg}^2\frac{k(r^*+a)}{2}} \times \times \cos(\theta + \operatorname{arc\,tg}\frac{3,6\operatorname{ctg}\frac{k(r^*+a)}{2}}{\cos\theta})]\sin\frac{k(r^*+a)}{2}\cos\frac{2\omega\tau+k(r^*+a)}{2}, \quad (5)$$

де **θ** – полярний кут сферичної системи координат; **a** - радіус пошкодження; $r^*$ - відстань від центру пошкодження до розглядуваної точки поверхні об'єкту.

За виразом (5) при значеннях, які отримано при експериментальних дослідженнях [3,4,10] побудовані полярні

діаграми коливань зрілого плоду кавуна при наявності внутрішнього пошкодження типу «сфера» (рисунок 1г). Картини акустичного поля побудовано і для інших видів внутрішніх пошкоджень.

**Висновки.** Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити наступні висновки:

1. В напрямку поширення хвилі спостерігається передача значної енергії на тіньову сторону дефекту в певному створі кута **θ**, а також розсіяння енергії хвилі з тіньової сторони дефекту (рисунок 1г).

2. При порівнянні розрахункової діаграми з експериментальною (рисунок 1г) спостерігається відмінність, як за значенням тілесного кута "тіні" (**$\Theta_P$** – розрахункове значення; **$\Theta_E$** – експериментальне значення) , так і за значенням інтенсивності коливань в 1,2..1,4 рази.

3. Моделюючи ушкодження у формі різних геометричних тіл (циліндра, еліпсоїд, паралелепіпед тощо) і проводячи відповідні теоретичні дослідження можна отримати (з певною похибкою) вирази для визначення розрахункових значень коливальної швидкості поверхні біологічних об'єктів фіксованої геометричної форми, при наявності пошкоджень, для побудови полярних діаграм. А це, в свою чергу, дає можливість планування проведення експериментальних досліджень і, як наслідок, можливість технічної реалізації методу.

**Список використаних джерел**

1. *Іноземцев Г. Б., Яковлев В. Ф., Козирський В. В.* Застосування акустичних технології в агарному виробництві: навч. посібник. Київ, 2013. 171 с.

2. *Лепендин Л. Ф.* Акустика. Москва: Высшая школа, 1978. 448 с.

3. *Jakovlev V. F., Terechov A. N.* Kontrola jakosci owocow. *Ekologiczne aspekty, mechaniracjї nawożenia ochrony roślin i uprawy gleby:* 111 Miedrynarodowe sympozjum (Warszawa, 25 wrzesnia 1996). P. 231-235.

4. The acoustic control of fruit damage / *V. F. Jakovlev, I. P. Nazarenko, M. V. Yakovleva, A. N. Terekhov. Sistemy mikropro-cecorowe wrolnictwte:* 2nd conference on mickoprocessor systems in acgriculture. Conference materials. (Plock, Poland, 18-19 September 1997). P. 113-117.

5. *Яковлев В. Ф., Максимочкин Г. И.* Разработка акустического метода и устройства для экспрессного анализа качества плодов бахчевых культур. *Применение ультроакустики к исследованию вещества*. Москва,1986. С. 54-59.

6. А.с. № 1291866 СССР, МКИ$^4$ G01N29/00. Способ определения зрелости и поврежденности плодов / В. Ф. Яковлев, И. Ф. Бородин,

Г. И. Максимочкин. № 3703697/28-13; заявл. 20.02.84; опубл. 23.02.87. Б. И. № 7.

7. *Лав А.* Математическая теория упругости. Москва: ОНТИ, 1935. 751 с.

8. *Яковлєв В. Ф.* Визначення якості сільськогосподарської продукції методом акустичної емісі. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2015. Вип. 164. С. 75-77.

9. *Яковлєв В. Ф.* Визначення координат внутрішніх пошкоджень біологічних структур фіксованої геометричної форми акустичним методом. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. Харків, 2016. Вип. 175. С. 97-99.

10. *Яковлєв В.Ф.* Визначення якісних ознак біологічних структур фіксованої геометричної форми імпульсним методом. *Вісник СНАУ Сер. Механізація та автоматизація виробничих процесів*. Суми, 2018. Вип. 5 (33). С. 66-73.

## АКУСТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФОРМЫ ВНУТРЕННИХ ПОВРЕЖДЕНИЙ РАСТИТЕЛЬНЫХ БИОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

**Яковлев В. Ф.**

***Аннотация*** **-** получение продукции сельского хозяйства высокого качества требует обеспечения технологического процесса (производства, переработки, хранения) достаточным уровнем качественных признаков исходного сырья, контролем качества продукции на промежуточных и конечных операциях.

Для оценки качественных и количественных признаков сельскохозяйственной продукции применяются разные физические методы (органолептические, оптические, электрические, физико-механические, химические и др.), из большого числа которых, особое место занимают акустические методы (в частности, импульсные методы), которые очень интенсивно развиваются в настоящее время. Одной из причин широкого распространения акустических методов заключается в том, что свойства продуктов (как биологических объектов), которые определяют возбуждение и распространения упругих колебаний, тесно связаны с их анатомической структурой и физико-биохимическими характеристиками. Это позволяет глубже исследовать связь между качественными признаками, а именно, определения наличия внутренних повреждений, в объектах фиксированной геометрической формы и параметрами акустического зондирования, сформулировать основные принципы построения технических средств неразрушающего экспрессного контроля в технологическом потоке.

В статье обоснована возможность построения пространственной модели тракта зондирования биологических объектов фиксированной геометрической формы с внутренними повреждениями, основные уравнения связи параметров последействия ударного возбуждения этих объектов с формой, объемом и глубиною залегания внутренних повреждений, теоретическая база проведения экспериментальных исследований и возможность технической реализации

устройств экспрессного неразрушающего контроля качественных признаков сельскохозяйственной продукции. Приведена акустическая модель тракта, с учетом влияния компонентов структуры неповрежденной части объекта и зонами повреждений различных стадий развития. Приведен пример реализации тракта зондирования с постоянными базовыми параметрами.

***Ключевые слова:*** акустический сигнал, система сферических координат, ударное возбуждение, коэффициент поглощения, частота, скорость звука, мода колебаний, компоненты структуры, пространственная модель, тракт акустического зондирования, экспрессный неразрушающий контроль.

## ACOUSTIC METHOD OF DETERMINATION OF FORM OF INTERNAL DAMAGES OF VEGETABLE BIOLOGICAL OBJECTS

**V. Yakovlev**

### Summary

The production of high quality agricultural products requires the provision of a technological process (production, processing, storage) with a sufficient level of qualitative attributes of the raw materials, quality control of products at intermediate and final operations.

Different physical methods (organoleptic, optical, electrical, physicomechanical, chemical, etc.) are used to evaluate the qualitative and quantitative characteristics of agricultural products, out of a large number of which, acoustic methods (in particular, impulse methods), which are very intensive are developing now. One of the reasons for the widespread use of acoustic methods is that the properties of products (as biological objects), which determine the excitation and propagation of elastic oscillations, are closely related to their anatomical structure and physico-biochemical characteristics. This allows a deeper study of the relationship between qualitative signs, namely, the determination of the presence of internal damage, in objects of a fixed geometric shape and the parameters of acoustic sounding, to formulate the basic principles for constructing technical means of non-destructive express control in the process flow.

The article substantiates the possibility of constructing a spatial model of the path for sensing biological objects of a fixed geometric shape with internal damage, the basic equations for the connection parameters of shock excitation effects of these objects with the shape, volume and depth of internal damage, the theoretical basis for experimental research and the possibility of technical implementation of express nondestructive testing devices quality signs of agricultural products. An acoustic model of the tract is given, taking into account the influence of the components of the structure of the intact part of the object and damage zones of various stages of development. An example of a sounding path implementation with constant basic parameters is given.

**Keywords:** acoustic signal, system of spherical coordinates, shock excitation, asorptance, frequency, speed of sound, fashion of vibrations, component of structure, spatial model, highway of the acoustic sounding, express non-destructive control.

**УДК 621.3.07** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-19**

# АНАЛІЗ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕКОНОМІЧНОСТІ РОБОТИ ЕНЕРГОСПОЖИВАЮЧИХ АГРЕГАТІВ

**Толбатов А. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-9785-9975**
e-mail: tolbatov@ukr.net
**Толбатов В. А., к. т .н.** **http://orcid.org/0000-0002-6564-9658**
e-mail: tolbatov302@gmail.com
**Яковлєв В. Ф., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-5261-4432**
e-mail: kfizika@ukr.net
**В'юненко О. Б., к. е. н.** **http://orcid.org/0000-0002-8835-0704**
e-mail: uarl_ut2ab@yahoo.co.uk
**Смоляров Г. А., к. е. н.** **http://orcid.org/0000-0001-6917-6950**
*Сумський національний аграрний університет*
e-mail: smolarovga@gmail.com

***Анотація*** **–** аналізуючи енергетичну економічність роботи обладнання безперервної дії, можна стверджувати, що практично доцільними є тільки такі чотири режими: 1) безперервна робота з постійним навантаженням агрегату; 2) безперервна робота зі змінним навантаженням; 3) переривистий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи при максимальній годинній продуктивності агрегату з холостими ходами обладнання або роботою з мінімальною годинною продуктивністю; 4) переривистий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи при максимальній або економічній годинній продуктивності агрегату і перерви в роботі з повним вимкненням обладнання. У всіх розглянутих режимах, окрім безперервної роботи обладнання із змінним навантаженням, питома витрата енергії є сталою величиною при будь-якій заданій середньокалендарній продуктивності агрегату. Таким чином, встановивши конкретний режим роботи обладнання, легко визначити за його енергетичною характеристикою норму питомої витрати енергії, точно відповідну вибраному режиму і заданій середньокалендарній продуктивності агрегату. Якщо за умовами виробництва годинна продуктивність обладнання не може бути зафіксована незмінною, слід передбачити деякий діапазон можливого її коливання щодо встановленої середньої величини. В цьому випадку енергетична характеристика або діаграма агрегату дозволяє встановити відповідний діапазон допустимих коливань середньої питомої витрати енергії. При цьому норму питомої витрати енергії можна задати за його середнім значенням у зазначеному діапазоні.

***Ключові слова:*** обладнання безперервної дії, енергетична економічність роботи, продуктивність обладнання**.**

**Постановка проблеми.** Під обладнанням безперервної дії [1], [2],

© Толбатов А. В., Толбатов В. А., Яковлєв В. Ф., В'юненко О. Б., Смоляров Г. А.

[3] зазвичай розуміють такі технологічні агрегати, виробництво продукції на яких пов'язане тільки з витратами часу на корисну роботу (до таких агрегатів належать, наприклад, металообробка обладнання, компресори, насоси). Режим роботи обладнання пов'язаний з характером його навантаження [2], [4], [5] в часі. Агрегат може працювати безперервно або з перервами протягом деякого періоду часу. При цьому його продуктивність (навантаження) під час роботи може бути незмінною або змінюватися в часі. У зв'язку з цим розрізняють такі режими роботи обладнання безперервної дії (рис. 1):

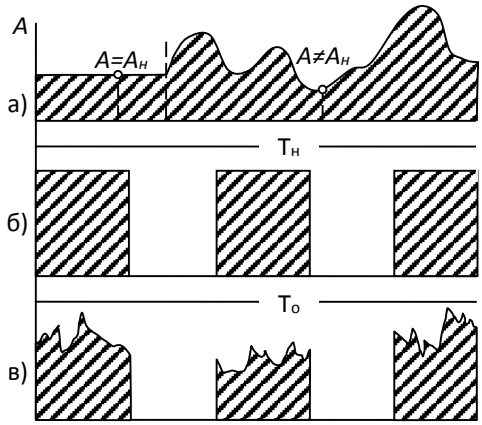



Рис. 1. Режими роботи обладнання:
а) неперервна робота з постійною і змінною продуктивністю;
б) переривиста робота з постійною продуктивністю;
в) переривиста робота зі змінною продуктивністю;

**Основні матеріали дослідження. Аналіз режимів роботи і продуктивності обладнання безперервної дії.** Розглядаючи режим роботи обладнання [1], [2], [3], [4], [5] з перервами, необхідно враховувати, що вони можуть характеризуватися чергуванням періодів корисної роботи з холостими ходами або чергуванням корисної роботи з періодами зупинки (повного вимкнення) обладнання.

Під продуктивністю технологічного обладнання розуміють обсяг випущеної на ньому продукції (або виконаної корисної роботи) за одиницю часу. Для обладнання безперервної дії характерне те, що його продуктивність може бути віднесена до скільки завгодно малих відрізків або навіть моментів часу роботи агрегату. Інакше кажучи, продуктивність такого обладнання має миттєве значення і є синонімом навантаження агрегату [4], [5]. Проте найчастіше при визначенні поточної продуктивності обладнання безперервної дії як елементарний відрізок часу беруть одну годину. Годинна продуктивність обладнання безперервної дії, як і його миттєва продуктивність, є змінною

величиною, яка належить до певних умов виробництва, параметрів технологічного процесу, а також до певного періоду часу.

Величина миттєвої і годинної продуктивності обладнання збігаються у тому разі, коли агрегат працює безперервно з постійним навантаженням. При безперервній роботі, але зі змінним навантаженням продуктивність обладнання в деякому відрізку часу характеризується її середньогодинною величиною $A_н$, що дорівнює

$$A_н = \frac{Q_н}{T_н}, \quad (1)$$

де $T_н$ - час безперервної роботи обладнання;

$Q_н$ - обсяг випуску продукції агрегатом за час $T_н$.

Значення годинної (або середньогодинної) продуктивності агрегату при безперервній роботі залежать тільки від навантаження обладнання за потужністю [4], [5]. Як відомо, для характеристики відносного завантаження обладнання за потужністю використовується коефіцієнт навантаження (коефіцієнт використання обладнання за потужністю), визначений як відношення середньогодинної продуктивності агрегату до його максимально можливої продуктивності за той самий відрізок часу $T_н$ в конкретних умовах виробництва

$$K_н = \frac{A_н}{A_{max}}. \quad (2)$$

Показники годинної продуктивності обладнання належать до часу його безперервної роботи $T_н$. Вони є необхідними і достатніми для характеристики режиму роботи обладнання тільки в тому випадку, якщо в деякому календарному періоді часу $T_o$ відсутні перерви в роботі агрегату.

Загалом же календарний період $T_o$ містить не тільки час безперервної роботи $T_н$, але також і час перерв і простоїв обладнання $T_c$. При цьому для характеристики продуктивності обладнання у всьому календарному періоді $T_e$ застосовують величину, середньокалендарну продуктивності $A_o$ (за зміну, добу, місяць і тому подібне), яка визначається так

$$A_o = \frac{Q_o}{T_o}, \quad (3)$$

де $Q_o$ - випуск продукції за час $T_o$.

Показник $A_o$ пов'язаний з величиною $A_н$ через відносну тривалість безперервної роботи (ввімкнення) обладнання, яка може бути також названа коефіцієнтом використання обладнання в часі і визначається за

такою формулою

$$K_t = \frac{T_н}{T_o} = \frac{T_н}{T_н + T_c}. \quad (4)$$

При цьому величина $T_e = T_н / K_t$, звідки

$$A_o = \frac{Q \cdot K_t}{T_н} = A_н \cdot K_t. \quad (5)$$

На підставі (2) і (5) отримуємо залежність

$$A_o = A_н \cdot K_t = A_{max} \cdot K_н \cdot K_t = A_{max} \cdot K_i, \quad (6)$$

де $K_i$ - інтегральний коефіцієнт, що характеризує використання обладнання як за потужністю, так і в часі.

Таким чином, як буде показано далі, енергетична економічність роботи технологічного обладнання безперервної дії істотно залежить від режиму його роботи, тобто від навантаження обладнання в часі. Причому навантаження на агрегат залежно від режиму його роботи необхідно оцінювати за допомогою різних показників його продуктивності (черговий, середньогодинний або середньокалендарний). Величина навантаження агрегату значною мірою визначається показниками його навантаження за потужністю і використання в часі, які відіграють важливу роль також і для аналізу використання і нормалізації витрат енергії технологічним обладнанням.

**Аналіз енергетичної економічності роботи обладнання безперервної дії.** Як уже було сказано, обладнання безперервної дії може працювати протягом деякого періоду часу як безперервно, так і з перервами. Причому його навантаження під час роботи може бути як постійним, так і змінним. При безперервній роботі обладнання енергетична економічність його роботи є однозначною функцією продуктивності. Для кожного конкретного значення продуктивності енергоекономічність роботи агрегату оцінюється за допомогою його енергетичної характеристики величиною підведеної потужності або питомої витрати енергії.

Під час роботи обладнання з перервами протягом деякого проміжку часу $T_o$, при незмінній середньокалендарній продуктивності агрегату $A_o$ середня підведена потужність $P_o$ і середня питома витрата енергії $d_o$ можуть бути різними. Вони можуть мінятися залежно від характеру зміни навантаження агрегату в часі. Проте, при цьому енергетичні характеристики обладнання не втрачають свого значення. На їх основі можна побудувати енергетичні діаграми, що відображають всі практично можливі режими роботи агрегату і відповідні ним

області зміни значення $P_o$ і $d_o$.

Для деякого спрощення спочатку проаналізуємо ефективність використання енергії обладнанням безперервної дії без обліку пускових витрат і додаткових втрат енергії нестаціонарного процесу (тобто втрат енергії, виникаючих при переході з одного навантаження агрегату на інший). При цьому перш за все потрібно пам'ятати, що енергетична економічність роботи обладнання в різних режимах істотно залежить від форми його характеристики підведеної потужності. Тому розглянемо окремо кожну з відомих нам груп агрегатів, виявлених залежно від форми зазначеної характеристики.

**Аналіз функціонування обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності.** При безперервній роботі такого обладнання [4], [5] з постійним навантаженням величина підведеної до нього потужності при будь-якому значенні продуктивності відповідно до залежності (9) визначається з рівняння

$$P - P_{x.x} + d_ч \cdot A. \quad (7)$$

Розділивши обидві частини рівняння (7) на $A$, отримаємо рівняння характеристики питомої витрати енергії

$$d = \frac{P_{x.x}}{A} + d_ч. \quad (8)$$

У зазначених вище умовах витрата енергії за будь-який проміжок часу безперервної роботи обладнання $T_н$ дорівнює

$$W_н = P \cdot T_н = P_{x.x} \cdot T_н + d_ч \cdot Q_н. \quad (9)$$

Розділивши обидві частини виразу (9) на $T_н$, отримаємо

$$P_н = \frac{W_н}{T_н} = P_{x.x}. + d_ч \cdot A_н. \quad (10)$$

Далі, розділивши обидві частини останнього рівняння на $A_н$, отримуємо рівняння характеристики питомої витрати енергії

$$d_н = \frac{P_{x.x}}{A_н} + d_ч. \quad (11)$$

У рівняннях (10) і (11), на відміну від залежностей (7) і (8), фігурують вже не поточні (миттєві), а середньогодинні значення продуктивності обладнання і підведеної потужності, визначені за весь період безперервної роботи агрегату. Проте, характер залежності між цими параметрами залишився незмінним, тобто константи в рівняннях підведеної потужності і питомої витрати енергії залишилися

колишніми (рис. 2).

Таким чином, на підставі викладеного можна зробити такі висновки:

1. При безперервній роботі обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності енергетичні характеристики режиму постійного навантаження агрегату одночасно є і характеристиками режиму його роботи зі змінним навантаженням.

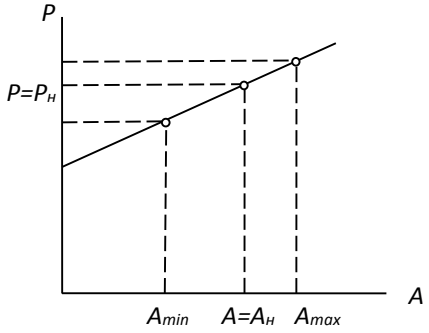



Рис. 2. Збіг поточної і середньої підведеної потужності для агрегатів з прямолінійною характеристикою

2. Робота такого обладнання при однаковій продуктивності (поточної або середньогодинної) енергетично дорівнює економічній як у постійному, так і змінному режимах навантаження, причому в останньому випадку - незалежно від характеру зміни навантаження агрегату за час його роботи (якщо при переході від одного значення навантаження до іншого не виникає додаткових витрат енергії).

Проте, як уже було сказано, режим роботи обладнання в деякому календарному періоді може характеризуватися не тільки часом безперервної роботи, але також перервами і простоями. В цьому випадку оцінка енергетичної економічності роботи агрегату базується на середньокалендарних значеннях підведеної потужності і питомої витрати енергії.

Витрата енергії за час $T_0$ (без урахування пускових витрат), як і раніше, визначається виразом, аналогічним залежності (9)

$$W_o + P_{x.x} \cdot T_y + d_x \cdot Q, \qquad (12)$$

оскільки при простоях і перервах з вимкненням обладнання енергія не витрачається. При цьому характеристика середньокалендарної підведеної потужності і питомої витрати енергії матиме такий вигляд

$$P_o = P_{x.x} \frac{T_н}{To} + d_ч \frac{Q}{T_o} = K_t \cdot P_{x.x} + d_ч \cdot A_o;$$

$$d_o = \frac{P_o}{A_o} = \frac{K_t \cdot P_{x.x}}{A_o} + d_ч. \qquad (13)$$

Рівняння (13) відрізняються від отриманих раніше тим, що вони містять дві змінні величини: $A_o$ і $K_t$. Отже, вони визначають собою вже не лінії, а області зміни значень $P_o$ і $d_o$. Ці області є енергетичними діаграмами обладнання.

Енергетична діаграма роботи обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності має такий вигляд (рис. 3). Пряма $P_{x.x}$ - $P_{max}$ на діаграмі відповідає випадку, коли $K_t=1$, тобто характеризує безперервну роботу обладнання протягом усього періоду часу $T_o$ і є характеристикою залежності $P_н=f(A_н)$. У точці $P_{max}$ цієї прямої агрегат працює з максимальною годинною продуктивністю. Таким чином, робота агрегату по прямій $P_{x.x}$ - $P_{max}$ характеризується умовами

$$T_o = T_н;\ A_o = A_н;\ K_t = 1;\ K_н = var\ . \qquad (14)$$

Зазначеній прямій на діаграмі питомої витрати енергії відповідає крива $d_1$ –$d_2$. У точці $d_2$, відповідно умові $A_o$-$A_{max}$, питома витрата енергії має найменшу величину. Пряма $0$-$P_{max}$ відповідає переривистому режиму роботи обладнання з постійною годинною продуктивністю, що дорівнює $A_{max}$, і з повним вимкненням агрегату на час перерв. Цей режим роботи обладнання характеризується умовами

$$T_o = \frac{T_н}{K_t};\quad A_o = K_t \cdot A_н = K_i \cdot A_{max};\quad K_н = 1;\quad K_t = var. \qquad (15)$$

На діаграмі (рис. 3) питомої витрати енергії цьому режиму відповідає пряма $d_3$-$d_2$. Прямі $P_{x.x}$ - $P_{max}$ і $0$-$P_{max}$ є примежовими прямими енергетичної діаграми обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності і визначають собою найбільш характерні режими роботи таких агрегатів.

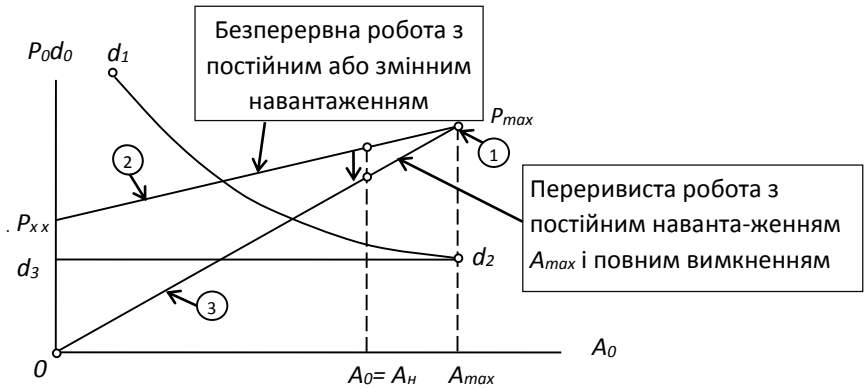



Рис. 3. Енергетична діаграма для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності

Розглянута енергетична діаграма дозволяє зробити такі висновки щодо режимів роботи обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності:

1. За відсутності обмежень за програмою випуску продукції таке обладнання з погляду витрати енергії найдоцільніше експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним навантаженням, що дорівнює $A_{max}$, при якій забезпечується найменша величина питомої витрати енергії.

2. Якщо за умовами програми випуску продукції обладнання не може бути максимально навантажене протягом всього календарного періоду часу $T_o$ (тобто $A_o < A_{max}$) і в той же час виробництво не допускає переривистого режиму роботи агрегату, то з погляду витрати енергії байдуже, буде обладнання працювати безперервно з постійною пониженою продуктивністю $A_0$ чи воно працюватиме зі змінним навантаженням, забезпечуючи середньогодинну продуктивність $A_н = A_0$. В обох випадках робота агрегату проходитиме за однією і тією самою характеристикою (пряма $P_{x.x}$-$P_{max}$). Проте, при нагоді вибору постійного або змінного режиму навантаження перевага завжди повинна віддаватися режиму постійного навантаження. Це пов'язано як із додатковими втратами енергій, що виникають іноді при змінному навантаженні, так і з метою збереження обладнання і зручності його експлуатації.

3. Якщо в тих самих умовах неповного навантаження обладнання випуском продукції виробництво допускає роботу агрегату з перервами, то з погляду витрати енергії доцільно переходити на переривистий режим роботи, чергуючи періоди роботи при максимальній годинній продуктивності з перервами в роботі з повним вимкнення агрегату. В цьому випадку робота обладнання проходитиме по прямій $0$-$P_{max}$ на діаграмі підведеної потужності і по лінії $d_3$-$d_2$ на діаграмі питомої витрати енергії.

**Аналіз функціонування обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності.** Енергетична економічність безперервної роботи такого обладнання з постійним навантаженням також однозначно оцінюється за допомогою енергетичних характеристик. Інакше відбувається при змінному режимі навантаження агрегату. Тут при одному і тому самому виробленні продукції показники енергоекономічності роботи обладнання зі змінним і постійним навантаженням не збігаються (рис. 4). На підставі наведеного рисунка видно, що середня величина підведеної потужності $P_н$ за період безперервної роботи обладнання зі змінним навантаженням не збігатиме з поточним значенням підведеної

потужності $P$, відповідним середньогодинному значенню продуктивності агрегату $A_н$.

Величина різниці між значеннями $P_н$ і $P$ характеризує додаткові втрати енергії змінного режиму навантаження в порівнянні з режимом постійного навантаження, які залежать від ступеня кривизни характеристики підведеної потужності і від діапазону зміни годинної продуктивності агрегату за час його безперервної роботи.

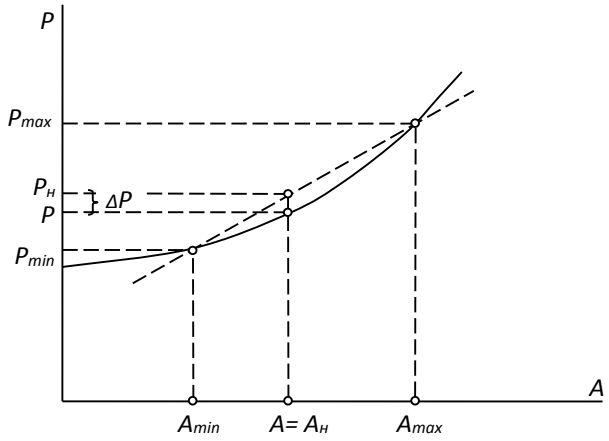



Рис. 4. Незбігання поточної і середньогодинної підведених потужностей для агрегатів з увігнутою характеристикою

Енергетична діаграма обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності може бути подана у вигляді такого графіка (рис. 5). Заштрихована бласть тут відповідає безперервній роботі агрегату з різними режимами навантаження протягом календарного періоду часу $T_o$. Точка $P_{max}$ відповідає роботі обладнання в постійному режимі навантаження при максимальній годинній продуктивності $A_{max}$. Проте, найменша питома витрата енергії при безперервній роботі агрегату спостерігається в точці $b$, відповідній роботі обладнання в постійному режимі навантаження з так званою економічною продуктивністю $A_{ек}$.

Крива $P_{x.x}$-$b$-$P_{max}$ характеризує режим постійного навантаження обладнання, найбільш вигідний в умовах безперервної роботи. Пряма $P_{x.x}$-$P_{max}$ відповідає найменш вигідному з енергетичної точки зору режиму безперервної роботи агрегату, характеризується чергуванням періодів роботи при максимальній годинній продуктивності з холостими ходами.

Переривисті режими роботи агрегату характеризуються на графіку прямими $0$-$P_{max}$ і $0$-$b$. Перша з них відповідає режиму чергування періодів роботи агрегату при максимальній годинній продуктивності $A_{max}$ з повним вимкненням обладнання на час перерв, а друга - режиму чергування перерв з повним вимкненням агрегату з періодами роботи обладнання при економічній годинній продуктивності $A_{ек}$. Останній

режим є найвигіднішим з точки зору витрати енергії, оскільки йому при заданій середньокалендарній продуктивності $A_o$ відповідає найменша величина середньокалендарної підведеній потужності $P_o$, а отже, і найменша величина середньокалендарної питомої витрати енергії $d_o$.

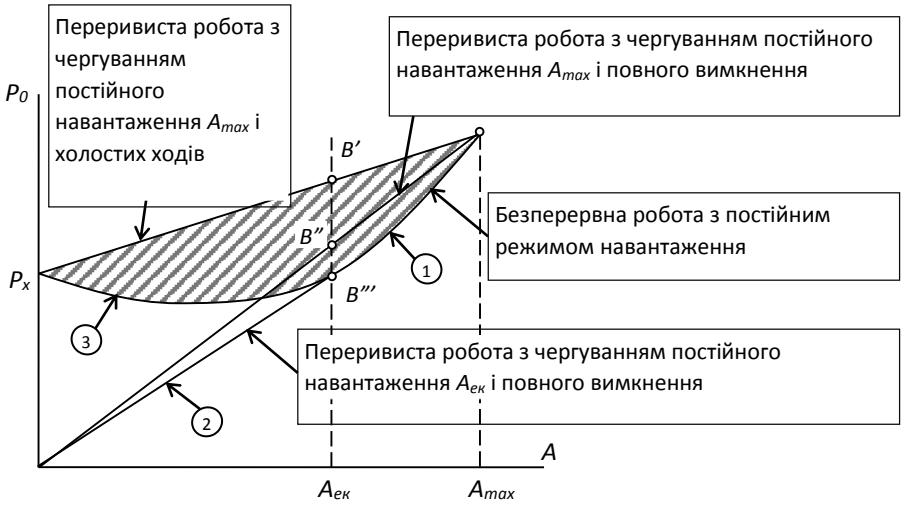



Рис. 5. Енергетична діаграма для обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності

Розглянута енергетична діаграма (рис. 5) дозволяє зробити такі висновки щодо енергетичної економічності роботи обладнання з увігнутими характеристиками підведеної потужності:

1. Якщо за умовами виробничої програми такому обладнанню може бути задана середньокалендарна продуктивність, що дорівнює або більша, ніж його економічна продуктивність (тобто $A_o >= A_{ек}$), то з точки зору витрати енергії обладнання повинно працювати в режимі безперервної роботи з постійною годинною продуктивністю.

2. Якщо виробнича програма не забезпечує середньокалендарного навантаження обладнання за його економічною годинною продуктивністю (тобто $A_o < A_{ек}$), то з точки зору витрати енергії найвигідніше переходити на переривистий режим роботи агрегату з чергуванням періодів роботи при постійному навантаженні, що дорівнює економічній годинній продуктивності $A_{ек}$, з повним вимкненням обладнання.

3. Якщо в тих самих умовах навантаження обладнання випуском продукції ($A_o<A_{ек}$) виробництво не допускає переривистого режиму роботи агрегату, то з точки зору витрати енергії обладнання слід експлуатувати в режимі безперервної роботи з постійним

навантаженням, що дорівнює заданій середньокалендарній продуктивності $A_o$.

**Аналіз функціонування обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності.** Для обладнання з такими характеристиками під час роботи зі змінним навантаженням середньогодинна величина підведеної потужності і середньогодинна питома витрата енергії при заданій середньогодинній продуктивності $A_н$ також не дорівнюють підведеній потужності і питомій витраті енергії під час роботи агрегату з постійною годинною продуктивністю $A=A_н$ (рис. 6). Різниця між вказаними значеннями підведеної потужності характеризує в даному випадку не додаткові витрати, а економію енергії при змінному режимі навантаження в порівнянні з режимом роботи з постійним навантаженням.

Енергетична діаграма роботи обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності може бути подана у вигляді такого графіка (рис. 7). Заштрихована область тут характеризує безперервну роботу агрегату з різними режимами навантаження. Точка $P_{max}$ відповідає безперервній роботі з постійним навантаженням, що дорівнює максимальній годинній продуктивності обладнання $A_{max}$, при якій спостерігається найменше значення питомої витрати енергії.

Крива $P_{x.x}$-$b$-$P_{max}$ відповідає безперервній роботі обладнання в режимі постійного навантаження, який тут є найменш вигідним з енергетичної точки зору за будь-яких умов, оскільки йому при будь-якій заданій середньокалендарній продуктивності відповідає найбільше значення середньокалендарної підведеної потужності $P_o$.

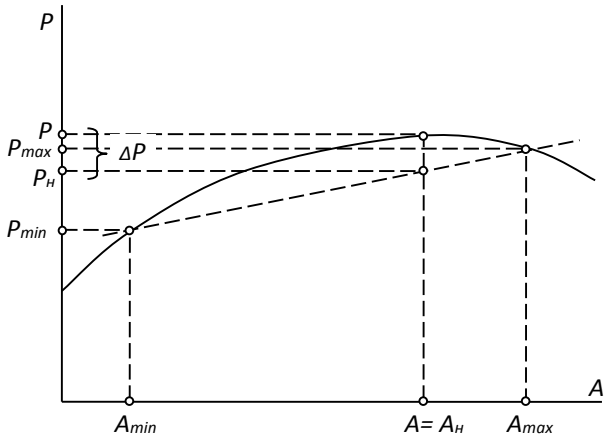



Рис. 6. Не збігання поточної і середньої підведених потужностей для агрегатів з опуклою характеристикою

Пряма $P_{x.x}$-$P_{max}$ характеризує безперервну роботу агрегату з чергуванням корисної роботи при максимальній годинній

продуктивності $A_{max}$ з холостими ходами обладнання. Цей режим в умовах безперервної роботи агрегату при будь-якій заданій середньокалендарній продуктивності з погляду споживання енергії вигідніший, ніж робота з постійним навантаженням, що дорівнює тій самій середньо-календарній продуктивності $A_o$.

Пряма $0\text{-}P_{max}$ відповідає переривистому режиму роботи обладнання з чергуванням періодів корисної роботи при максимальній годинній продуктивності $A_{max}$ і перерв з повним вимкненням агрегату. Цей режим є з енергетичної точки зору найвигіднішим при будь-якій заданій середньокалендарній продуктивності, меншій, ніж його максимальна годинна продуктивність.

На підставі розглянутої енергетичної діаграми можна зробити такі висновки, що належать до роботи обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності [1], [3], [4], [5]:

1. Безперервна робота агрегату з постійним навантаженням з погляду витрати енергії вигідна тільки тоді, коли виробнича програма дозволяє навантажити обладнання на величину його максимальної годинної продуктивності $A_{max}$ протягом усього календарного періоду часу $T_o$.

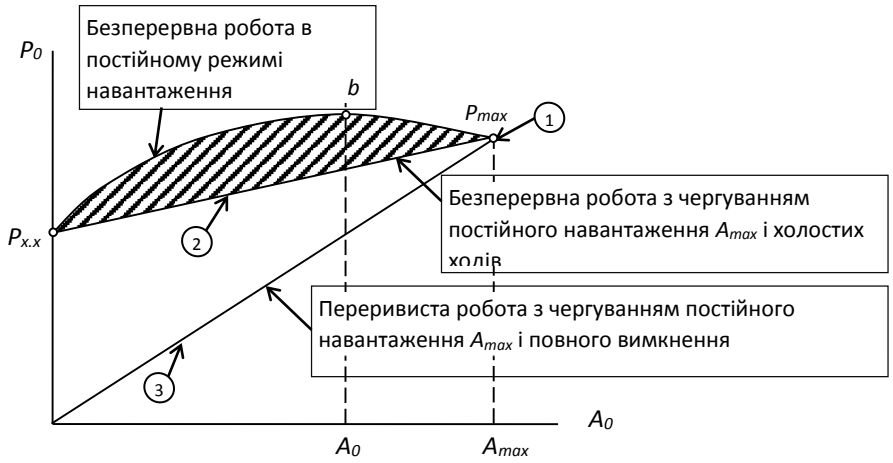



Рис. 7. Енергетична діаграма для обладнання з опуклими характеристиками підведеної потужності

2. При безперервній роботі обладнання, встановленій умовами виробництва, і заданій неповній середньокалендарній продуктивності агрегату $A_o<A_{max}$, з погляду витрати енергії найвигідніше експлуатувати його в режимі чергування періодів роботи при максимальній годинній продуктивності з холостими ходами або з роботою при мінімальній годинній продуктивності обладнання.

3. У тих самих умовах неповного завантаження обладнання

випуском продукції ($A_o<A_{max}$), але допустимості переривистої роботи, з енергетичної точки зору найвигідніше переходити на переривистий режим роботи агрегату з чергуванням періодів корисної роботи при максимальній годинній продуктивності і перерв з повним вимкненням обладнання.

**Аналіз продуктивності і енергетичної економічності роботи обладнання циклічної дії.** До обладнання циклічної дії належать, наприклад, металорізальні верстати, прокатні стани, молоти, преси, печі й таке інше. Виробництво продукції на такому обладнанні зв'язане не тільки з часом ефективної (корисної) роботи, але і з допоміжним часом, що є складовою частиною робочого циклу таких агрегатів. Допоміжний час містить, наприклад, час установки і знімання деталей, підведення і відведення різальних інструментів та інші витрати часу, обумовлені технологічними і конструктивними чинниками. У зв'язку із зазначеним обставинами час безперервної роботи обладнання циклічної дії $T_н$ можна розглядати тільки як якусь подібність того самого часу для обладнання безперервної дії. Час $T_н$ для агрегатів циклічної дії є сумою тривалості повних циклів його роботи, що здійснюються за даний період

$$T_н \equiv \frac{n}{i=1} Tp_i = \frac{n}{i=1} (T_п + T_в)_i = \frac{n}{i=1} (T_п + T_{x.x} + T_c)_i , \qquad (16)$$

де $T_p$ - тривалість одного робочого циклу агрегату;

$n$ - число повних циклів роботи за даний період часу;

$T_п$ - тривалість корисної роботи обладнання;

$T_в$ - допоміжний час, що складається в загальному випадку з часу холостого ходу $T_{x.x}$ і тривалості перерви в роботі з повним вимкненням агрегату $T_c$.

Для обладнання циклічної дії випуск продукції може бути виміряний тільки за повний цикл його роботи або за ряд повних циклів. Тому поточна величина годинної продуктивності $A$ агрегату циклічної дії є фіктивною величиною, відповідною годинній продуктивності обладнання, допоміжний час для якого становить нескінченно малу величину в порівнянні з часом його корисної роботи.

Середньогодинна продуктивність $A_н$ обладнання циклічної дії може розглядатися також тільки як якась подібність даного показника для обладнання безперервної дії. При цьому, якщо за кожний робочий цикл проводиться $Q_p$ одиниць продукції, то середньогодинна продуктивність агрегату циклічної дії за час безперервної його роботи становитиме

$$A_н = \frac{Q_p}{T_p} = \frac{Q_p}{T_п + T_в}, \quad або \quad A_н = \frac{n \cdot Q_p}{\frac{n}{1=1} Tp_i}. \qquad (17)$$

З формул (17) виходить, що середньогодинна продуктивність обладнання циклічної дії залежить не тільки від кількості продукції, що виробляється, але також і від тривалості робочого циклу агрегату. Тому добиватися підвищення середньогодинної продуктивності обладнання циклічної дії потрібно не тільки шляхом збільшення його навантаження за потужністю, але і шляхом поліпшення його використання в часі (подібно до того, як може бути підвищена середньокалендарна продуктивність обладнання безперервної дії). Це може досягатися як шляхом збільшення одночасно оброблюваних виробів (наприклад, на багатошпиндельних верстатах), так і шляхом зменшення часу корисної роботи і скорочення допоміжного часу в робочому циклі агрегату.

Показники середньокалендарної продуктивності $A_o$ обладнання циклічної дії не відрізняються від аналогічних показників для обладнання безперервної дії, оскільки ця величина як у першому, так і в другому випадках відображає відносну тривалість безперервної роботи, перерв і простоїв агрегату, що виходять за межі їх робочих циклів.

Хоча для відрізків часу $T_o <= T_n$ можна говорити про безперервну роботу обладнання циклічної дії, побудувати для нього характеристику підведеної потужності, відповідну цьому режиму, неможливо, оскільки за час $T_n$ не можна визначити продуктивність агрегату. Отже, енергетична характеристика для такого обладнання може бути побудована тільки на відрізку часу $T_e >= T_p$.

Якщо розглядати роботу агрегату циклічної дії за час $T_o <= T_н$ (тобто за час, що не містить тривалість перерв, пов'язаних з режимом роботи підприємства), то, очевидно, можливі два стани обладнання протягом допоміжного часу:

- холостий хід агрегату;
- повне вимкнення обладнання.

Ті ж два стани обладнання, в принципі, можливі і під час перерв, пов'язаних з режимом роботи підприємства (міжзмінні перерви, вихідні, святкові дні та ін.).

Таким чином, енергетична діаграма роботи обладнання циклічної дії (рис. 8) зовні нагадує енергетичну діаграму для обладнання безперервної дії з прямолінійними характеристиками підведеної потужності (рис. 3). Проте енергетична діаграма для обладнання циклічної дії не містить характеристики, відповідної безперервній

роботі агрегату з постійним навантаженням. Отже, можливі тільки два режими, в яких з енергетичної точки зору доцільно використовувати обладнання циклічної дії:

– переривистий режим із чергуванням роботи при максимальній або економічній продуктивності з холостими ходами агрегату протягом допоміжного часу або часу перерв;

– переривистий режим із чергуванням роботи при максимальній або економічній продуктивності з повним вимкненням обладнання протягом допоміжного часу або часу перерв.

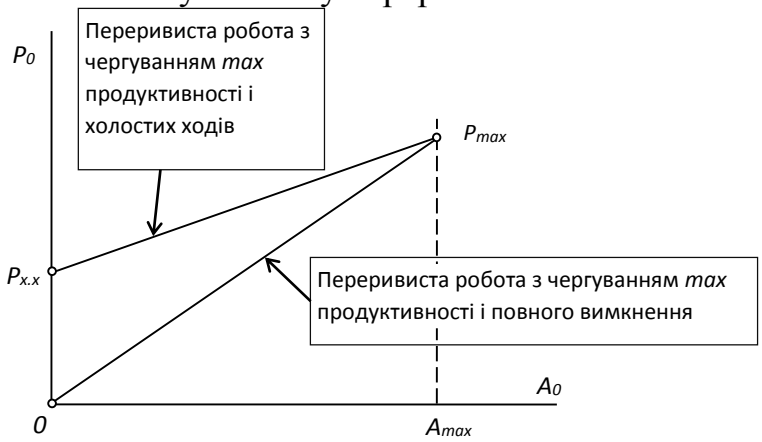



Рис. 8. Енергетична діаграма для обладнання циклічної дії

Якщо не брати до уваги додаткові витрати енергії, пов'язані з вимкненням обладнання і подальшим його включенням у роботу, то з погляду ресурсозбереження, очевидно, перевагу слід віддавати переривистому режиму роботи агрегатів циклічної дії з повним їх вимкненням протягом допоміжного часу або часу перерв. Проте, остаточний вибір між зазначеними двома режимами роботи (як, втім, і для обладнання безперервної дії) необхідно здійснювати з урахуванням додаткових витрат і втрат енергії, що виникали в результаті вимкнення і подальшого включення агрегатів у роботу.

**Висновок.** Таким чином, проаналізувавши енергетичну економічність роботи обладнання безперервної дії, можна стверджувати, що незважаючи на різноманітність можливих режимів його роботи, практично доцільними є тільки такі чотири режими:

1. Безперервна робота з постійним навантаженням агрегату. Цей режим допустимий для обладнання з прямолінійними й увігнутими характеристиками при будь-якому заданому значенні його середньокалендарної продуктивності, а для обладнання з опуклими характеристиками - тільки при постійному навантаженні, що дорівнює

максимальній годинній продуктивності агрегату.

2. Безперервна робота зі змінним навантаженням. Цей режим допустимий тільки для обладнання з прямолінійними характеристиками підведеної потужності.

3. Переривистий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи при максимальній годинній продуктивності агрегату з холостими ходами обладнання або роботою з мінімальною годинною продуктивністю. Цей режим допустимий в умовах обов'язкової безперервної роботи для обладнання з прямолінійними й опуклими характеристиками підведеної потужності і протипоказаний для агрегатів з увігнутими характеристиками.

4. Переривистий режим, що характеризується чергуванням періодів корисної роботи при максимальній або економічній годинній продуктивності агрегату і перерви в роботі з повним вимкненням обладнання.

У всіх розглянутих режимах, окрім безперервної роботи обладнання із змінним навантаженням, питома витрата енергії є сталою величиною при будь-якій заданій середньокалендарній продуктивності агрегату. Таким чином, встановивши конкретний режим роботи обладнання, легко визначити за його енергетичною характеристикою норму питомої витрати енергії, точно відповідну вибраному режиму і заданій середньокалендарній продуктивності агрегату.

Якщо за умовами виробництва годинна продуктивність обладнання не може бути зафіксована незмінною, слід передбачити деякий діапазон можливого її коливання щодо встановленої середньої величини. В цьому випадку енергетична характеристика або діаграма агрегату дозволяє встановити відповідний діапазон допустимих коливань середньої питомої витрати енергії. При цьому норму питомої витрати енергії можна задати за його середнім значенням у зазначеному діапазоні.

**Список використаних джерел**

1. *Толбатов В. А., Лебединський І. Л., Толбатов А. В.* Організація систем енергозбереження на промислових підприємствах: навч. посібник. Суми: СумДУ, 2009. 195 с.

2. *Прокопенко В. В., Закладний О. М., Кульбачний П. В.* Енергетичний аудит з прикладами та ілюстраціями: навч. посібник. Київ: Освіта України, 2008. 438 с.

3. *Толбатов В. А.* Ресурсозбереження на стадіях життєвого циклу автоматизованих технологічних об’єктів: звіт про НДР 0113U004133. Суми: СумДУ, 2018. 139 с.

4. Научное окружение современного человека: Техника и технологии: монография / *И. Я. Львович* и др. Одесса, 2018. 181 с.

5. Инновационная наука, образование, производство и транспорт: Техника и технологии: монография / *А. М. Верховлюк* и др. Одесса, 2018. 223 с.

## АНАЛИЗ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ РАБОТЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЯЮЩИХ АГРЕГАТОВ

**Толбатов А. В., Толбатов В. А., Яковлев В. Ф., Вьюненко А. Б., Смоляров Г. А.**

***Аннотация*** – анализируя энергетическую экономичность работы оборудования непрерывного действия, можно утверждать, что практически целесообразными являются только следующие четыре режима: 1) непрерывная работа с постоянной нагрузкой агрегата; 2) непрерывная работа с переменной нагрузкой; 3) прерывистый режим, характеризующийся чередованием периодов полезной работы при максимальной часовой производительности агрегата с холостыми ходами оборудования или работой с минимальной часовой производительностью; 4) прерывистый режим, характеризующийся чередованием периодов полезной работы при максимальной или экономической часовой производительности агрегата и перерывы в работе с полным отключением оборудования. Во всех рассмотренных режимах, кроме непрерывной работы оборудования с переменной нагрузкой, удельный расход энергии является постоянной величиной при любой заданной среднекалендарной производительности агрегата. Таким образом, установив конкретный режим работы оборудования, легко определить по его энергетической характеристике норму удельного расхода энергии, которая точно соответствует выбранному режиму и заданной среднекалендарной производительности агрегата. Если по условиям производства часовая производительность оборудования не может быть зафиксирована неизменной, следует предусмотреть некоторый диапазон её возможного колебания по установленной средней величине. В этом случае энергетическая характеристика или диаграмма агрегата позволяет установить соответствующий диапазон допустимых колебаний среднего удельного расхода энергии. При этом норму удельного расхода энергии можно задать с его средним значением в указанном диапазоне.

***Ключевые слова:*** оборудование непрерывного действия, энергетическая экономичность работы, производительность оборудования.

# ANALYSIS OF ENERGY ECONOMY OF WORK OF ENERGY-CONSUMERING UNITS

**A. Tolbatov, V. Tolbatov, V. Yakovlev, O. Viunenko, G. Smolarov**

***Summary***

By analyzing the energy efficiency of continuous operation equipment, it can be argued that only the following four modes are practically feasible: 1) Continuous work with constant load of the unit; 2) Continuous work with variable load; 3) intermittent mode, characterized by the alternation of periods of useful work at the maximum hourly productivity of the unit with idle equipment or work with a minimum hourly productivity; 4) intermittent mode, characterized by alternating periods of useful work at the maximum or economical hourly productivity of the unit and the break in the work with the complete shutdown of the equipment. In all considered modes, in addition to the continuous operation of equipment with variable load, the specific energy consumption is a constant value for any given average calendar productivity of the unit. Thus, by establishing a specific operating mode of the equipment, it is easy to determine according to its energy characteristic the norm of the specific energy consumption, exactly corresponding to the selected mode and the given average calendar productivity of the unit. If, under the conditions of production, the hourly productivity of the equipment cannot be fixed unchanged, a certain range of its possible fluctuations in relation to the established average value should be foreseen. In this case, the energy characteristic or the diagram of the unit allows to establish the appropriate range of permissible fluctuations of the average specific energy consumption. In this case, the rate of specific energy consumption can be set at its average value in the specified range.

***Keywords:*** continuous operation equipment, energy efficiency, equipment performance.

**УДК 620.179.1:669.15** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-20**

# АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ВИХРОСТРУМОВИХ ДЕФЕКТОСКОПІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ФЕРОМАГНІТНИХ МЕТАЛОВИРОБІВ

**Коваленко Л. Р., к. т. н.,**
**Коваленко О. І., к. т. н.**
*Запорізький національний університет*
*e-mail:* oleksandr071967@gmail.com

***Анотація*** – розглянуто перспективи використання вихрострумових дефектоскопів для поточного контролю феромагнітних металовиробів. Використання дозволяє досліджувати порожнини і внутрішню поверхню отворів, деталі, конструкції різної форми на наявність дефектів, що забезпечує збільшення продуктивності методу контролю металовиробів і скорочення витрат дефектоскопічних матеріалів.

***Ключові слова*:** неруйнівний контроль, вихрострумовий дефектоскоп, феромагнітні металовироби, дефектоскопічний матеріал.

**Постановка проблеми.** Однією з найбільших проблем металургії під час виробництва продукції з гарячекатаної спеціальної сталі та сплавів є забезпечення високої якості. Якість металургійної продукції на етапі виробництва визначається, як характеристика дефектів готової продукції, параметрів у відповідності до технічних умов та конкретними її споживчими властивостями. Необхідно виконувати контроль великої кількості різнобічних параметрів на різних стадіях технології виготовлення феромагнітної продукції, для отримання інформації про фактичний стан виробу. При цьому витрати на контроль якості продукції, що виготовляється, складає близько 40-45% трудовитрат на виготовлення феромагнітних металовиробів.

**Аналіз останніх досліджень.** Показники якості промислової продукції – це параметр або вірогідна характеристика параметру, що використовується для кількісного опису будь-якої ознаки продукції. За допомогою цих якісних характеристик в технічній документації задається якість готової продукції [1]. Вихрострумовий контроль феромагнітних виробів почали використовувати в основному в результаті відкриття електромагнітної індукції. Далі розробки Форстера дозволили адаптувати вихровий струм для промислового використання [1, 2]. При великому різноманітті методів контролю якості феромагнітних металовиробів, особливе місце займає вихрострумовий метод неруйнівного контролю, який представляє

© Коваленко Л. Р., Коваленко О. І.

собою процес оцінки якостей, які характеризують властивості виробів, ознак та параметрів. Після проведення неруйнівного контролю вироби не змінюють своїх характеристик та придатні до подальшого використання [3].

**Формулювання цілей статті**. Метою роботи є аналітичне дослідження використання вихрострумових дефектоскопів для контролю феромагнітних металовиробів, обґрунтування ефективності вихрострумової дефектоскопії при контролі феромагнітних металовиробів зі складною поверхнею та різними електромагнітними властивостями матеріалу.

**Основні матеріали дослідження**. Для здійснення сучасної вихрострумової дефектоскопії застосовують широку номенклатуру серійних приладів. Але в кожному окремому випадку має місце специфіка, яка обумовлює необхідність додаткових досліджень і розробку спеціалізованих засобів контролю. Особливо це стосується дефектоскопії виробів, які мають складну поверхню. При цьому важливою проблемою є відображення форми і розмірів виявлених дефектів, які виявляються як в процесі експлуатації виробів, так і при їх виготовленні, тобто потрібний перехід від дефектоскопії до дефектометрії [3]. Структурна схема дефектоскопа представлена на рис. 1.

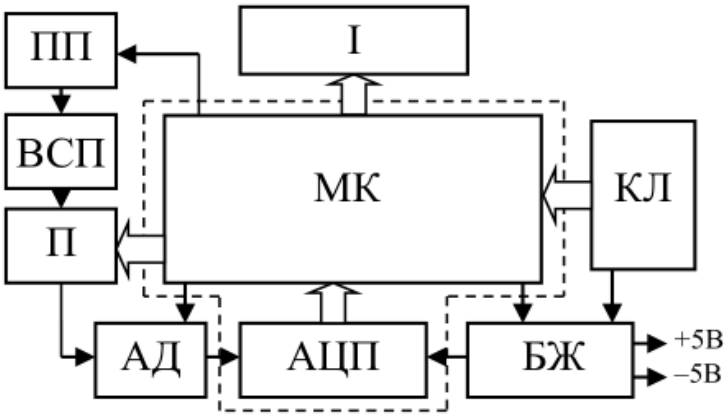



Рис. 1. Структурна схема вихрострумового дефектоскопа

Вихрострумовий дефектоскоп складається з мікроконтролера (МК), індикатора (І), підсилювача потужності (ПП), вихрострумових перетворювачів (ВСП), цифрового потенціометра (П), амплітудного детектора (АД), аналого-цифрового перетворювача (АЦП), блока живлення (БЖ) та клавіатури (КЛ).

Головною вимогою, що висувається до сучасних дефектоскопів, є можливість виконувати контроль різноманітних як за формою, так і за властивостями металовиробів. Найбільш розповсюдженими

об’єктами, які потребують визначення якості, є феромагнітні металовироби.

При проведенні контролю якості металовиробу доцільно враховувати температуру металу і температуру оточуючого середовища. Дефектоскоп повинен мати можливість оцінювання еквівалентних геометричних розмірів виявлених дефектів з відображенням результатів візуально і на слух. При практичному застосуванні вихрострумових дефектоскопів важливим параметром є значення відношення сигнал-шум. Дефектоскопи працюють з комплектом локальних ВСП [3].

Проведені дослідження впливу наявного дефекту металовиробу на сигнал вихрострумових перетворювачів показують, що амплітудний метод контролю суттєво ефективніший, ніж фазовий. Тому пропонується застосовувати саме амплітудний метод для контролю якості феромагнітних металовиробів [4].

Залежності впливу частоти на відношення амплітуд сигнал-шум (відношення потужності корисного сигналу до потужності шуму) при різних глибинах дефектів феромагнітного металовиробу (0,2; 0,5 та 1 мм) представлено на рис. 2.

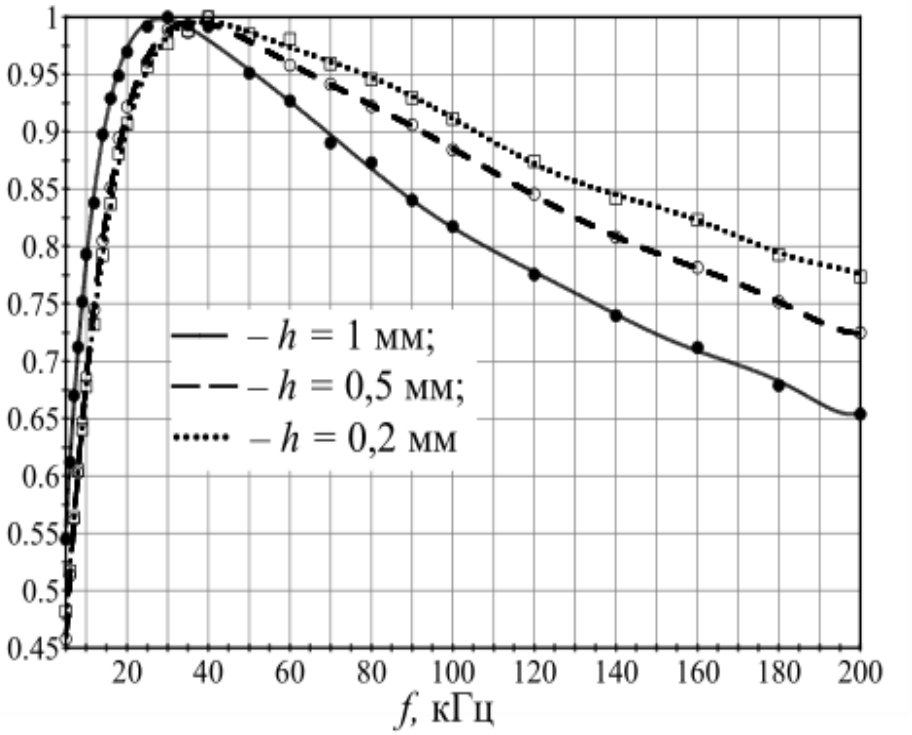



Рис. 2. Залежність відношення сигнал-шум від частоти

Відношення сигнал-шум досягається при живленні ВСП струмом у діапазоні частот від 20 до 60 кГц, при цьому величина робочої частоти залежить від параметрів конкретного дефекту. Для підвищення ефективності контролю доцільно використовувати струм

збудження ВСП з частотою $f$ = 50 ± 10 кГц. Найбільше значення амплітуди сигналу вимірювальної обмотки ВСП відзначається при кутах орієнтації дефекту $\varphi$ = 40°…50°. Орієнтація робочої зони ВСП відносно тріщини відображена на рисунку 3.

Процес контролю переміщення ВСП необхідно виконувати двічі – другий раз з кутом, зміненим на ± 40°...50° щодо положення при першому проході сканування. Такий підхід дозволяє визначати характер дефекту: тріщина чи колоподібний дефект, що має суттєве значення для експлуатації об’єкта, що контролюється.

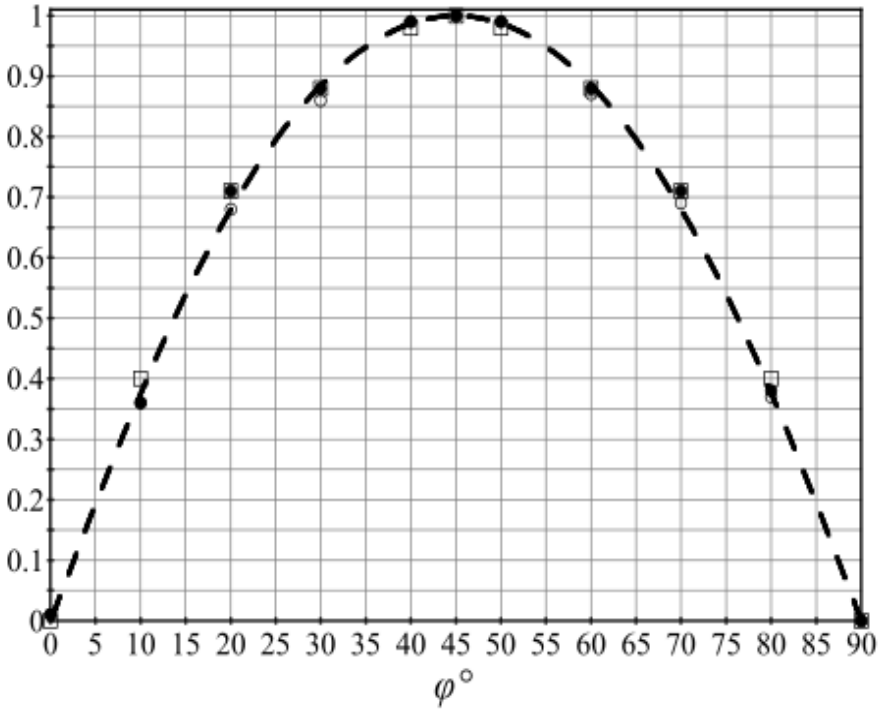



Рис. 3. Залежність сигналу ВСП від кутів орієнтації дефекту $\varphi$

Для вихрострумових перетворювачів коливання зазору в межах 0,5 мм викликає зміну корисного сигналу менше ніж на 30 % (рис. 4). Вплив глибини поверхневих дефектів на амплітуду сигналу ортогонального вихрострумового перетворювача представлений на рис. 4.

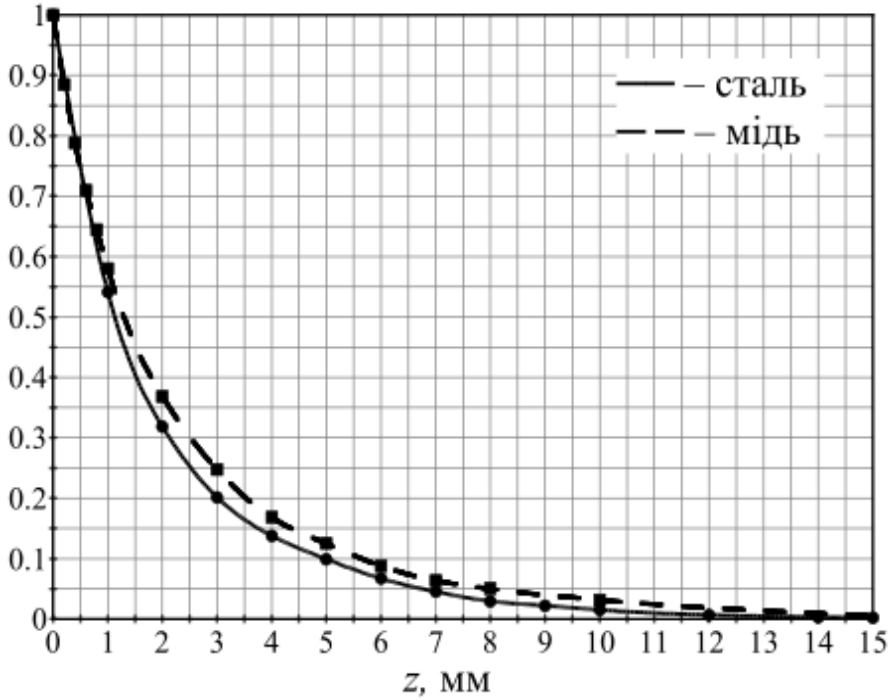



Рис. 4. Залежність значення сигналу ВСП від зазору z

У загальному випадку залежність сигналу від глибини дефектів нелінійна і повільно зростає. При цьому зі збільшенням глибини дефектів зростання кривої сповільнюється. Дані залежності дозволяють проводити оцінку глибини дефектів як на гладких, так і на шорстких поверхнях об’єкту. Вплив на сигнал перекосу ВСП вздовж і поперек дефекту має однаковий характер. Виявлення дефекту з розкриттям – 0,3 мм і глибиною – 2 мм за рівнем відношення сигнал-шум, що дорівнює 2, може бути здійснене при кутах ВСП до 12,5° [3].

Вихрострумовий контроль дозволяє виявляти як поверхневі, так і підповерхневі (залягають на глибині 1-4 мм) дефекти. Контроль вихровими струмами можна виконувати без безпосереднього механічного контакту перетворювачів з об'єктом, що дозволяє вести контроль при взаємному переміщенні перетворювача і об'єкта з великою швидкістю, наприклад, в технологічному потоці. Об'єктами контролю є основний метал, зварні з'єднання конструкцій, а також деталі.

Вихрострумовим контролем можуть бути виявлені: кувальні, штампувальні, шліфувальні тріщини, надриви в елементах конструкцій та деталях, неметалеві включення, пори в поковках і прокаті; тріщини, що виникли в елементах конструкцій та деталях при експлуатації машин [4, 5].

**Висновок.** Встановлено, що дефектоскопія є рівноправна і невід'ємна ланка технологічних процесів, що дозволяє підвищити надійність металургійної продукції, що випускається. Запропонованим методом можна контролювати вироби будь-яких габаритних розмірів і форм, якщо магнітні властивості матеріалу

дозволяють намагнічувати його до ступеня, достатньої для створення поля розсіювання дефекту, здатного притягати частинки феромагнітного порошку.

Вихрострумовий контроль дозволяє виявляти як поверхневі, так і підповерхневі дефекти. Контроль можна виконувати без прямого механічного контакту перетворювачів з об'єктом, що дозволяє вести контроль при взаємному переміщенні перетворювача і об'єкта з великою швидкістю.

Надійності контролю сприяє його автоматизація, вдосконалення методик, а також раціональне поєднання декількох методів.

**Список використаних джерел**

1. *Білокур І. П.* Основи дефектоскопії. Київ: Азимут-Україна, 2004. 496 с.

2. *Алёшин Н. П., Щербинский В. Г.* Радиационная, ультразвуковая, магнитная дефектоскопия металлоизделий. Москва : Высшая школа, 1991. 271 с.

3. *Ермолов И. Н.*, Останин Ю. А. Методы и средства неразрушающего контроля качества. Москва: Высшая школа, 1988. 368 с.

4. *Сучков Г. М., Хомяк Ю. В., Добробаба М. В.* Исследование модели накладного ортогонального вихретокового преобразователя / *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2011. № 19. С. 113–126.

5. *Сучков Г. М., Хомяк Ю. В.* Развитие возможностей вихретоковой дефектоскопии. *Методи та прилади контролю якості*. 2006. № 17. С. 3–7.

## АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕТОКОВЫХ ДЕФЕКТОСКОПОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ФЕРРОМАГНИТНЫХ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

**Коваленко Л. Р., Коваленко А. И.**

***Аннотация*** – рассмотрены перспективы использования вихретоковых дефектоскопов для текущего контроля ферромагнитных металлоизделий. Их использование позволяет исследовать полости и внутреннюю поверхность отверстий, детали, конструкции различной формы на наличие дефектов, что обеспечивает увеличение эффективности метода контроля металлоизделий и сокращение расхода дефектоскопических материалов.

***Ключевые слова***: неразрушающий контроль, вихретоковый дефектоскоп, ферромагнитные металлоизделия, дефектоскопический материал.

# OF USE OF EDDY CURRENT FLAW DETECTORS FOR MONITORING THE FERROMAGNETIC METAL PRODUCTS

**L. Kovalenko, O. Kovalenko**

***Summary***

One of the problems in metallurgy is providing the high quality of the products. The quality of metallurgy products is defined as a final product defects characteristic, product parameters according to the technical assignment and specific consumer properties of the product.

Prospects of use of eddy current flaw detectors for monitoring the ferromagnetic metal products have been given. Use of this type of flaw detectors allows studying cavities and the inner surface of the holes, components, and assemblies of various shapes, and provides an increase in the effectiveness of the control method of hardware and reduce the costs of flaw detection materials.

It is appropriate to monitor metal and environment temperature during quality control of the metal product. Flaw detector should be capable of evaluating the equivalent geometrical dimensions of detected defects with sound and visual display of the results.

In general, the signal relation to the defect depth is non-linear and increases slowly. At the same time, the curve increase slows down with the defect depth increase. These relations provide the possibility to evaluate the depth of the defects both for smooth and rough objects' surfaces.

The proposed method can be used for controlling of products of any dimensions and shapes given that magnetic parameters of the material allow to magnetize it to the level sufficient for generating the leakage field in the defect that can drag in ferromagnetic powder particles.

***Keywords***: non-destructive control, eddy current flaw detector, ferromagnetic hardware, flaw detection material, defect shape.

**УДК 621.311.1** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-21**

# АНАЛІЗ ШЛЯХІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕДАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В МАГІСТРАЛЬНИХ МЕРЕЖАХ НАПРУГОЮ 330-750 кВ

**Коваленко О. І., к. т. н.,**
**Коваленко Л. Р., к. т. н.**
*Запорізький національний університет*
*e-mail:* oleksandr071967@gmail.com

***Анотація*** – розглянуто шляхи підвищення ефективності передачі електричної енергії в мережах напругою 330-750 кВ. Ефективність передачі електричної енергії знижується за рахунок наявних технологічних втрат в елементах електричної мережі. Основними технологічними втратами є навантажувальні втрати в елементах мережі та втрати на корону в проводах повітряних ліній. Запропоновано контролювати в реальному часі навантажувальні втрати та втрати потужності на корону в магістральних повітряних лініях електропередачі. Втрати потужності на корону суттєво залежать від погодних умов і рівня напруги в мережі. Незначне зниження напруги в мережі під час дощу та при відкладенні на проводах паморозі дозволить суттєво скоротити втрати електричної енергії в проводах високовольтних повітряних ліній.

***Ключові слова*:** ефективність передачі електроенергії, технологічні втрати електроенергії, навантажувальні втрати, втрати потужності на корону, рівень напруги, погодні умови.

**Постановка проблеми.** Проблема втрат електроенергії при її передачі є досить гострою для електроенергетики. Щоб передача електричної енергії була економічно вигідною та ефективною, необхідно мінімізувати втрати в елементах електричних мереж. Це досягається тим, що передача електроенергії на великі відстані здійснюється на високій напрузі. В магістральних мережах України напругою 330 та 750 кВ щорічно фактичні втрати електричної енергії становлять до 2% від загальної її кількості, що надходить з електростанцій, що істотно впливає на тарифи на електроенергію. Одним із дієвих шляхів зниження вартості передачі електроенергії є, на ряду із зменшенням її втрат, ефективне прогнозування їх обсягів.

**Аналіз останніх досліджень.** В магістральних мережах з напругою 330 кВ і вище суттєвим видом втрат є втрати електричної активної потужності (енергії) на нагрів проводів і на корону в повітряних лініях [1-3].

Протягом тривалого часу в Україні і за кордоном, проводяться дослідження, спрямовані на розробку ефективних методів виміру,

© Коваленко О. І., Коваленко Л. Р.

розрахунку і оцінки втрат активної потужності на корону у високовольтних повітряних лініях електропередач змінного струму [4].

У результаті проведених досліджень, узагальнення експериментального матеріалу була створена теорія корони змінного струму, отримані характеристики корони, запропоновані формули для розрахунків втрат потужності на корону, розроблені методи і прилади їхнього виміру [5, 6].

Однак, існуючі методики для визначення втрат активної потужності на корону побудовані на ряді припущень і спрощень, пов'язаних з детермінованим представленням чинників, що впливають на корону (конструктивних, метеорологічних, режимних), а також незмінності пасивних параметрів лінії, що вносить похибки в результати розрахунків при плануванні режимів електроенергетичних систем і їхньому оперативному керуванні.

У той же час відомо, що для ефективного оперативного керування електроенергетичної системою (ЕЕС) необхідно враховувати реальні втрати активної потужності на корону, а при оперативній оптимізації режимів роботи мережі та рівня втрат використовувати реальні залежності втрат активної потужності на корону від напруги мережі.

Одержання реальних величин втрат активної потужності на корону шляхом їхніх прямих вимірів на високовольтних полігонах і діючих високовольтних лініях вимагає застосування спеціалізованого устаткування і вимірювальних пристроїв, що пов’язане з великими витратами матеріальних ресурсів і організаційних зусиль. Але і ці, окремо виконані виміри втрат на корону, виконуються за умов фіксованих значень чинників, що впливають, і свідчать лише про порядок величини втрат і можуть бути використані тільки як наближені оцінки [7].

**Формулювання цілей статті**. Метою роботи є пошук шляхів вирішення задачі оперативного визначення і мінімізації втрат активної потужності на корону для підвищення ефективності передачі електричної енергії в мережах напругою 330-750 кВ. Використання сучасних засобів одержання і обробки оперативної інформації про параметри режиму високовольтної повітряної лінії (ВПЛ) створює реальні передумови для вирішення цієї задачі.

У загальному випадку, підвищити точність оперативного визначення втрат активної потужності в ВПЛ доцільніше за рахунок одночасної ідентифікації їх пасивних параметрів, а також урахуванням в явному вигляді активних втрат на корону і додаткового ємнісного струму, обумовленого короною.

Необхідно підвищити точності визначення пасивних параметрів лінії і їх оперативного корегування при зміні факторів, що впливають

на них, для вирішення завдання оперативного визначення втрат на корону.

**Основні матеріали дослідження**. Стосовно діючих ВПЛ об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України актуальність вирішення задач оперативних розрахунків і мінімізації втрат активної потужності на корону визначається такими основними чинниками:

а) великою протяжністю ВПЛ із робочою напругою 330-750 кВ, у яких втрати активної потужності на корону у деяких випадках порівнянні і навіть при певних умовах перевищують навантажувальні втрати;

б) різноманітністю метеорологічних умов різних регіонів України, через які проходять траси ВПЛ та різноманітністю метеорологічних умов у різні періоди року, що впливають на рівень втрат на корону.

Структура втрат електроенергії в елементах магістральних мереж ВП «Дніпровська електроенергетична система» представлена в таблиці 1 [2, 3].

Таблиця 1

**Структура втрат в елементах магістральних мереж ВП «Дніпровська електроенергетична система» за 2017 рік**

| Напруга, кВ | Змінні втрати в ЛЕП, ГВт·год. | Втрати на корону ЛЕП, ГВт·год | Втрати від струмів витоку ЛЕП, ГВт·год. | Змінні втрати в трансформаторах, ГВт·год | Постійні втрати в трансформаторах, ГВт·год | Всього інших умовно-постійних втрат, ГВт·год | Втрати в шунтуючих реакторах, ГВт·год | Інші втрати, тис. кВт·год | Всього, ГВт·год |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 750 | 163,3 | 89,1 | 6,2 | 18,4 | 19,0 | 30,6 | 29,1 | 1,6 | 326,6 |
| 330 | 367,2 | 86,5 | 7,8 | 28,7 | 59,0 | 3,7 | | 3,7 | 552,9 |
| Разом | 530,5 | 175,6 | 14,0 | 47,1 | 78,0 | 34,3 | 29,1 | 5,3 | 879,5 |

Як видно із таблиці 1 в магістральних мережах ВП «Дніпровська електроенергетична система» напругою 330 та 750 кВ втрачається близько 880 ГВт·год електричної енергії на рік. Значна частина цих втрат припадає на змінні (навантажувальні) втрати у ВПЛ – 530,5 ГВт·год (60%) та на втрати на корону ЛЕП – 175,6 ГВт·год (20%) [3]. Можна зробити висновок, що передача електричної енергії магістральними мережами супроводжується втратами. Підвищити ефективність

передачі електроенергії можна шляхом визначення розміру технічних втрат у ВПЛ та розробкою заходів для зменшення їх обсягів.

Якщо в гарну погоду навантажувальні втрати у ВПЛ переважають над втратами на корону, то при поганій погоді (сніг, дощ, ожеледь, паморозь) втрати на корону суттєво збільшуються [4].

Створення системи безперервного виміру втрат на корону ВПЛ є необхідною базою для оптимізації режиму за напругою і потокам реактивної потужності.

Навантажувальні втрати електроенергії включають в себе втрати в повітряних і кабельних лініях, трансформаторах, шинопроводах і струмообмежувальних реакторах.

Для розрахунку навантажувальних втрат використовується метод оперативних розрахунків, суть якого полягає в розрахунку втрат електроенергії за формулою [4-6]

$$\Delta W_{н} = 3\sum_{i=1}^{n} R_i \cdot \sum_{j=1}^{m} I_{ij} \Delta t_{ij}, \qquad (1)$$

де $n$ – кількість елементів мережі;

$R_i$ – опір $i$-го елементу мережі;

$I_{ij}$ – струм навантаження $i$-го елементу мережі;

$\Delta t_{ij}$ – період часу протягом якого $I_{ij}$ незмінний;

$m$ – кількість інтервалів часу.

Струмові навантаження елементів мережі визначають на основі диспетчерських даних, оперативних вимірювальних комплексів (ОВК) та автоматизованих систем контролю і обліку електроенергії.

Припустимо, що при зміні напруги в лінії потужність навантаження залишається постійною. Дане припущення справедливо в умовах, коли при зміні напруги в лінії напруга у вузлі навантаження залишається незмінною за рахунок роботи автоматики регулювання напруги в розподільній мережі, тоді струм в лінії буде дорівнює [4]

$$I_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sqrt{3}U_{ij}}, \qquad (2)$$

де $S_{ij}$ – потужність $i$-го елементу мережі.

Тоді сумарні втрати в лініях

$$\Delta W_{н} = 3\sum_{i=1}^{n} R_i \cdot \sum_{j=1}^{m} \frac{S_{ij}^2}{U_{ij}^2} \cdot \Delta t_{ij} . \qquad (3)$$

Відповідно, втрати електричної енергії в мережі обернено пропорційні квадрату напруги мережі.

Втрати електроенергії на корону визначаються на основі даних про питомі втрати потужності, і про тривалість видів погоди протягом розрахункового періоду. При цьому до періодів гарної погоди (для цілей розрахунку втрат на корону) відносять погоду з вологістю менше 100% і ожеледь, до періодів вологої погоди – дощ, мокрий сніг, туман. При відсутності даних про тривалість видів погоди протягом розрахункового періоду втрати електроенергії на корону визначаються в залежності від регіону розташування повітряної лінії [4].

Втрати потужності на корону змінюються в дуже широкому діапазоні, який відповідає двом порядкам, при цьому зміна втрат в часі протікає часом дуже швидко. Таким чином, періодичні вимірювання на контрольованих прольотах не дозволяють отримати достовірні значення середніх і максимальних втрат на корону.

Для визначення характеристик втрат на корону необхідно мати дані безперервних змін погодних параметрів і втрат на корону протягом періоду сонячної активності за декілька років, так як цим періодом сонячної активності визначається циклічна повторюваність метеорологічних явищ. В межах цього періоду втрати на корону можна вважати стаціонарним випадковим процесом, характеристиками якого є його функція розподілу і кореляційна функція [4, 5].

Аналіз показав, що розглянута методика заснована на результатах вимірювань втрат на корону на контрольованих прольотах тривалістю кілька сотень годин, що явно недостатньо [4, 5].

Втрати активної потужності на корону пропорційні напрузі у п’ятому ступені

$$\Delta P_{к} = P_{кн}\left(\frac{U}{U_{н}}\right)^5 , \qquad (4)$$

де $P_{кн}$ – номінальні втрати активної потужності при номінальній напрузі мережі $U_{н}$.

Із формул (3) та (4) випливає, що втрати на корону більш чутливі до зміни напруги, ніж навантажувальні втрати.

Так в період найбільших втрат сумарні втрати можна знизити, шляхом зменшення напруги, хоча при цьому зростуть втрати від струмів навантаження.

На даний час розроблена автоматизована система безперервних вимірювань втрат потужності на корону і метеопараметрів, за допомогою якої проводяться вимірювання в діючих ПЛ 330 кВ і 750 кВ.

На основі цих даних і теоретичних досліджень властивостей коронного розряду на проводах розроблена методика для розрахунку втрат на корону ПЛ різних номінальних напруг і конструкцій [5, 6].

Для оцінки значень втрат, розрахованих і виміряних різними способами при різних режимних і погодних умовах, використовуються їх кількісні і якісні характеристики. До основних характеристик відносяться [6, 8, 9]:

– середньорічні втрати потужності на корону;

– середні і максимальні втрати;

– питомі втрати;

– питомі скорочені втрати;

– залежність питомих втрат від напруги;

– імовірнісні характеристики питомих втрат потужності і щільності ймовірностей питомих втрат і ін.

На практиці, для оцінки втрат при інженерних розрахунках, в основному використовуються значення середньорічних втрат потужності на корону і характеристики залежностей втрат на корону від напруги.

«Керівні вказівки щодо обліку втрат на корону і перешкод від корони» виділяють чотири основні групи погодних умов, кожній з яких відповідає свій середній рівень втрат електроенергії на корону [8]:

– перша група – хороша погода;

– друга – сухий сніг;

– третя – дощ;

– четверта – паморозь.

Тривалість впливу погодних умов окремих груп на тривалість існування корони і її характеристики може зменшуватися під впливом нагріву проводів струмом навантаження. При густині струму вище деяких значень, що називаються критичними, на поверхні проводів не утворюються атмосферні відкладення у вигляді інею, роси, кристалічної паморозі або дрібних крапельок води (туман, підвищена вологість повітря, дощ малої інтенсивності). Внаслідок цього втрати на корону при зазначених метеорологічних умовах не перевищують рівнів втрат для умов гарної погоди.

Для струмових навантажень нижче критичних значень існує додаткова диференціація груп видів погодних умов:

– п'ята група – кристалічна паморозь;

– шоста група – іній;

– сьома група – роса;
– восьма група – туман (сильний та помірний);
– дев'ята група – дощ з інтенсивністю вище критичної;
– десята група – погода з підвищеною вологістю повітря.

В цілому, рекомендації, наведені у керівних вказівках [8], у ряді випадків не відповідають експериментальним даним для розщеплених проводів високовольтних ЛЕП, не враховують багатьох факторів, що впливають на корону, і тому вимагають подальшого вдосконалення.

У програмах оптимізації режимів ЕЕС, як правило, не враховуються зміни параметрів ЛЕП, обумовлених впливом метеоумов і струму навантаження лінії. На зміни параметрів впливають і інші фактори: забруднення проводів, корозія і т. п., вплив яких також не враховується.

Отримані експериментальні залежності $\Delta P_к = f\ (U)$ [10, 11] орієнтовані на використання лише для чотирьох основних груп погодних умов. А для інших груп погодних умов втрати потужності на корону не визначаються, що веде до спотворення величини цих втрат.

В існуючих програмах оптимізації режимів лінії електропередачі, нелінійні залежності $\Delta P_к = f\ (U)$ представляються поліномами фіксованих ступенів виду [10]

$$\Delta P = \left[ a_0 + a_1 \left( \frac{U_P}{U_H} \right) + a_2 \left( \frac{U_P}{U_H} \right)^2 + \ldots + a_k \left( \frac{U_P}{U_H} \right)^k \right] l, \qquad (5)$$

де $U_P$ та $U_H$ – відповідно, реальні і номінальні вузлові напруги;
$l$ – довжина лінії.

Так, у програмно-обчислювальному комплексі «Космос» нелінійні залежності $\Delta P_к = f\ (U)$ представлені рівнянням параболи другого порядку [12].

Розглянуті методи визначення реальних залежностей втрат потужності на корону від напруги в високовольтних ЛЕП змінного струму дозволяють на відрізках стаціонарності здійснювати оперативну корекцію залежностей $\Delta P_к = f(U)$ в моделях ЕЕС [12].

Таким чином, в результаті оптимізації більш точно розраховуються значення рівнів напруг, при яких сумарні втрати активної потужності (навантажувальні і на корону) є мінімальними.

На основі матеріалів ДП «НЕК «Укренерго», отриманих шляхом відповідних вимірювань на ЛЕП 750 кВ для чотирьох типів погоди (Рис. 1) отримані залежності питомих втрат на корону від напруги.

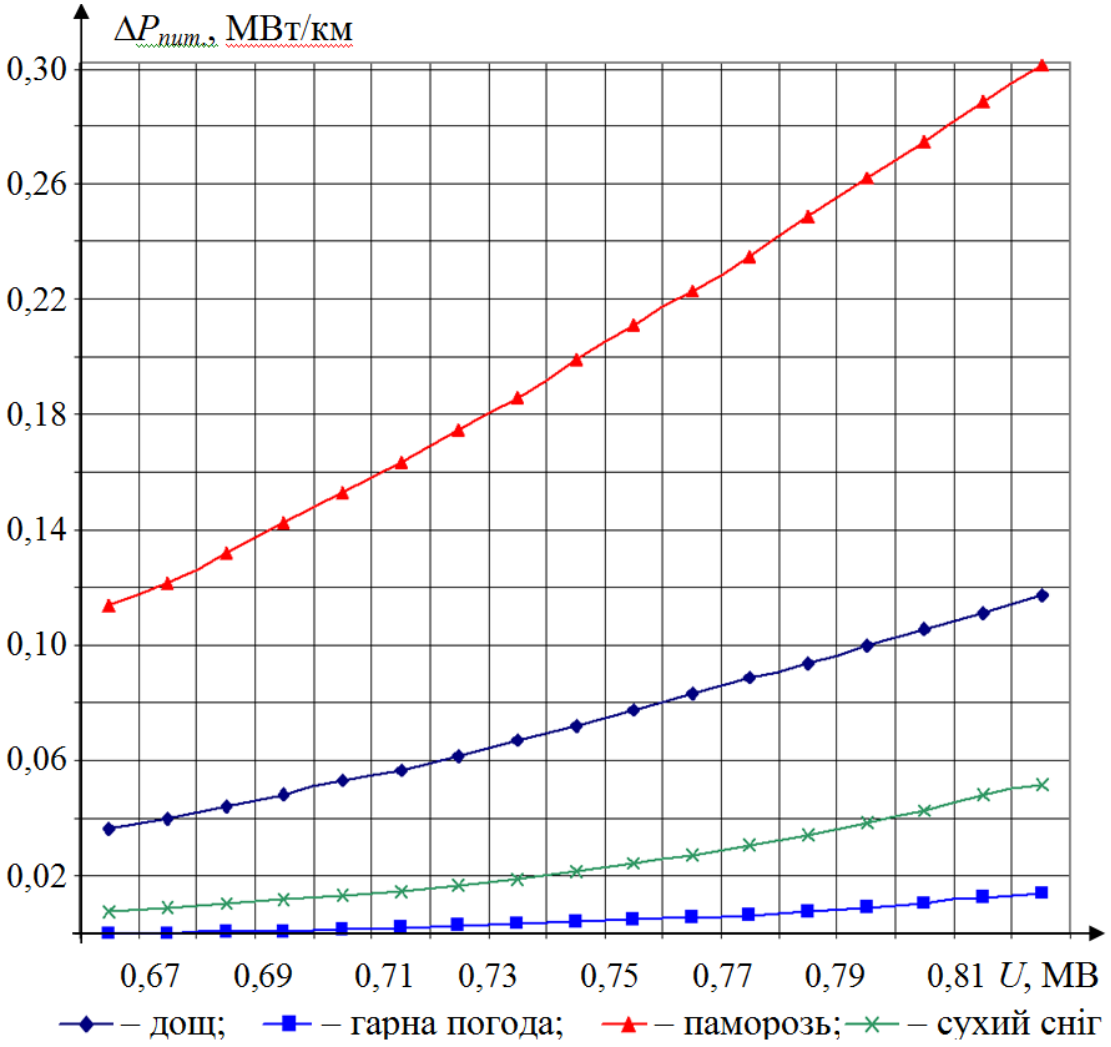



Рис. 1. Залежність питомих втрат активної потужності на корону від напруги на ЛЕП 750 кВ для типових погодних умов

Як видно з рис. 1, характер залежностей втрат потужності на корону для заданих груп погодних вказує на їх збільшення із підвищенням напруги ВПЛ. Значною мірою втрати збільшуються під час дощу та при відкладенні на проводах паморозі.

Здійснюючи в процесі експлуатації безперервний моніторинг втрат активної потужності на корону, можна перед виконанням оптимізації здійснити перевірку відповідності наявної типової залежності ($\Delta P_к = f(U)$) реальним експлуатаційним умовам.

Наведені залежності втрат на корону по ЛЕП 750 кВ дають переконливі докази необхідності регулювання напруги з метою зниження втрат. Якби в цей період несприятливих погодних умов (дождь, паморозь) напруга мережі 750 кВ була знижена на 2%, то втрати на корону зменшилися б на 10% [13].

**Висновок.** Встановлено, що втрати потужності та електричної енергії на корону в ПЛ змінюються в дуже широкому діапазоні, при цьому зміна втрат в часі протікає інколи дуже швидко. Таким чином, періодичні вимірювання на контрольованих прольотах не дозволяють отримати достовірні значення середніх і максимальних втрат на корону, що значно зменшує достовірність визначення втрат.

Запропоновано застосувати методику оперативного визначення втрат активної потужності та енергії (навантажувальних і на корону) на основі синхронізованих за часом по-фазних вимірів параметрів режиму по кінцях ВПЛ (струмів, напруг і кутів зсуву між ними) за допомогою сучасних засобів реєстрації інформації та корегування пасивних параметрів ВПЛ для уточнення рівня втрат та прийняття рішень для їх зменшення шляхом регулювання напруги в мережі.

**Список використаних джерел**

1. Головна сторінка. *Національна енергетична компанія «Укренерго»*: веб-сайт. URL: https://ua.energy/. (дата звернення: 12.12.2018).

2. Річні звіти. *Національна енергетична компанія «Укренерго»:* веб-сайт. URL: https://ua.energy/ diyalnist/zvitnist/richni-zvity/. (дата звернення: 12.12.2018).

3. Дніпровська ЕС. *Національна енергетична компанія «Укренерго»:* веб-сайт. URL: https:// ua.energy/about/struktura/dniprovska-es/. (дата звернення: 12.12.2018).

4. Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання. URL: http://www.leonorm.com/p/NL_DOC/UA/201301/Nak399.htm (дата звернення: 15.12.2018).

5. *Тамазов А. И.* О проблемах расчета потерь на корону воздушных линий электропередачи. *Электричество*. 2009. № 7. С. 20-27.

6. *Тамазов А. И.* Корона на проводах воздушных линий переменного тока. Москва: Компания Спутник, 2002. 318 с.

7. *Черненко П. А., Волхонский А. С.* Оперативное определение потерь мощности с идентификацией пассивных параметров ЛЭП 750кВ. Технічна електродинаміка. 2004. Ч. 2. С. 33-36.

8. Руководящие указания по учету потерь на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330-750 кВ и постоянного тока 800-1500 кВ. Москва: Специализированный центр научно-технической информации. 1974. 74 с.

9. *Черненко П. А., Волхонский А. С.* Повышение точности определения активных сопротивлений и проводимостей линий электропередач. *Новини енергетики*. 2004. № 1. С. 45-48.

10. *Черненко П. А., Волхонский А. С.* Оперативное определение зависимости потерь на корону от напряжения в высоковольтных линях. *Новини енергетики*. 2005. № 12. С. 32-38.

11. *Черненко П. А., Волхонский А. С.* Идентификация пассивных параметров высоковольтных линий в процессе эксплуатации. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Київ, 2006. № 2 (14). С. 58-61.

12. *Прихно В. Л.* Программный комплекс «Космос» для оперативных расчетов режимов энергосистем на основе телеметрической информации. *Праці Інституту електродинаміки НАН України*. Київ, 2000. № 1. С. 118-127.

13. Измерение потерь на корону в линиях электропередачи / *А. И. Тамазов, Е. В. Кравченко, Г. К. Кривоблоцкий, А. Б. Баламетов* // Управляемые электропередачи. Кишинев: Наука, 1992. С. 33-46.

## АНАЛИЗ ПУТЕЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В МАГИСТРАЛЬНЫХ СЕТЯХ НАПРЯЖЕНИЕМ 330-750 кВ

**Коваленко А. И., Коваленко Л. Р.**

***Аннотация*** – рассмотрены пути повышения эффективности передачи электроэнергии в сетях напряжением 330-750 кВ. Эффективность передачи электрической энергии снижается за счет имеющихся технологических потерь в элементах электрической сети. Основными технологическими потерями являются нагрузочные потери в элементах сети и потери на корону в проводах воздушных линий. Предложено контролировать в реальном времени нагрузочные потери и потери мощности на корону в магистральных воздушных линиях электропередачи. Потери мощности на корону существенно зависят от погодных условий и уровня напряжения в сети. Незначительное снижение напряжения в сети во время дождя и при отложении на проводах изморози позволит существенно сократить потери электрической энергии в проводах высоковольтных воздушных линий.

***Ключевые слова*:** эффективность передачи электроэнергии, технологические потери электроэнергии, нагрузочные потери, потери мощности на корону, уровень напряжения, погодные условия.

# THE ANALYSIS OF METHODS OF INCREASING OF THE ELECTRICAL POWER TRANSMISSION EFFICIENCY IN 330-750 kV MAIN POWER TRANSMISSION LINES

**O. Kovalenko, L. Kovalenko**

***Summary***

The problem of distribution power losses is one of the most important in the electrical energy industry. Cost-effective and efficient electrical power transmission requires the minimization of power losses in power network grid elements.

Methods of increasing of electrical power transmission efficiency in 330-750 kV lines are studied. Power transmission efficiency decreases due to existing technological power losses in different parts of the power grid. Main technological power losses are load losses in grid elements and corona losses in overhead lines. Real-time monitoring of load and corona losses in main overhead power transmission lines is suggested.

Load power losses in overhead high-voltage lines are higher than corona losses under good weather conditions but corona losses increase significantly under heavy weather conditions (snow, rain, icing, frosting).

The development of continuous power line corona losses measurement system is a necessary base for working mode optimizing by voltage, and power flows.

Corona losses significantly depend on weather conditions and grid voltage. The collected data of corona losses to power line voltage ratios under different weather conditions in 750 kV power line show strong evidence of the necessity of voltage regulating in order to reduce power losses.

Minor reducing of grid voltage during rain or lines icing leads to a significant decrease of power losses in high-voltage overhead power lines.

***Key words:*** electrical power transmission efficiency, technological losses of electrical power, load losses, corona losses, voltage, weather conditions, voltage regulation.

**УДК 621.374** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-22**

# АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВПЛИВУ ЕМВ НА ПРОЦЕС ЗБЕРІГАННЯ ЯБЛУК

**Бородай І. І., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0003-1045-4076**
**Кунденко М. П., д. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-5841-4367**
**Єгорова О. Ю., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-8593-1557**
**Єгоров О. Б., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0003-2599-1624**
**Шинкаренко І. М., інженер** **http://orcid.org/0000-0002-1318-3323**
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
E-mail: irina.boroday@gmail.com, тел.: (057)712-28-33

***Анотація*** **–** у повноцінному харчовому раціоні людини важливе місце займають фрукти, що містять такі необхідні для організму речовини як вітаміни, органічні кислоти, мікроелементи і т.п. Фрукти відносяться до продуктів, які повинні споживатися протягом всього року. У зв'язку з цим виникає проблема збереження плодів протягом 6-7 місяців. Існуючі способи зберігання: звичайна, регульована, модифікована атмосфери не забезпечують захист плодів яблуні від фізіологічних і грибкових хвороб, не гарантують збереження їх вихідної якості на стадіях зберігання та реалізації. Основною причиною розвитку захворювань і зниження якості плодів є надмірне накопичення етилену всередині плодів і навколишньому середовищі. З аналізу літературних джерел випливає, що значна частка втрат плодів (до 50%) в період зберігання припадає на поразку їх фізіологічними розладами та хворобами. З усієї кількості отриманої продукції вимогам вищого і першого сортів відповідають не більше 60% плодів. Проведений аналіз показав, що найважливішим фактором тривалого зберігання фруктів є рівень інтенсивності їх клітинного дихання.

Рішення даної задачі, що пов'язана з тривалим збереженням якості плодів, є інгібування синтезу етилену за допомогою хімічних засобів (препарат «Фітомаг» і ін.), що гальмують процеси старіння. Основний недолік від застосування хімічних засобів полягає в тому, що вони накопичуються в плодах. Сучасна технологія зберігання плодів в газовому середовищі є не завжди ефективною, більш того дорогою, що викликає необхідність в розробці нових, більш доступних і менш витратних технологій зберігання. Ефективна, недорога і доступна технологія зберігання плодів може бути здійснена за допомогою використання інформаційного електромагнітного випромінювання для знищення фізіологічних і грибкових хвороб і пригнічення синтезу етилену. Аналіз взаємодії інформаційного ЕМП на клітинному рівні показує, що електромагнітне інформаційне випромінювання слід сприймати як найтонший інструмент майже безмежного впливу на біологічні процеси в живому організмі. Однак, бажані зміни властивостей біологічних об'єктів можуть бути отримані тільки при оптимальному поєднанні біотропних параметрів ЕМП, що впливає (частота

© Бородай І. І., Кунденко М. П., Єгорова О. Ю., Єгоров О. Б., Шинкаренко І. М.

випромінювання, щільність потоку потужності, експозиція і ін.). В результаті розрахунків було встановлено, що максимальне блокування руху іонів через канали в мембрані клітини можливе електромагнітним випромінюванням з частотою 33,5 ... 36 ГГц, експозицією 20 с, потужністю 1,2 Вт, а штучно створюваний потенціал на мембрані не повинен бути більш 120 мВ.

В результаті досліджень створена резонаторна система вимірювання кількості етилену, що виділяється яблуками, з наступними технічними даними: номінальна частота кварцових генераторів 100 МГц; відносне значення середньої нестабільності частоти кварцових генераторів в нормальних умовах при встановленій температурі не перевищує $10^{-7}$ за $10^{-3}$ с; номінальна частота резонаторів 75 ГГц; добротність резонаторів не менше 4870; чутливість вимірювань $10^{-6}$ по $\Delta\varepsilon'$. Для тривалого зберігання в 2017-2018 р. були обрані яблука сорту «Голден» в господарстві Харківської області. При проведенні виробничого експерименту яблука на початку оброблялися електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 75,8 ГГц; потужність 650 мВт; експозиція 60 с. Потім ці ж яблука оброблялися електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 35 ГГц; потужність 1,2 Вт; експозиція 20 с. Застосування комбінованого випромінювання дозволило повністю знищити мікроорганізми на поверхні яблук і блокувати їх дихання перед закладкою на зберігання. Проведений дослід показує, що комбінована дія ЕМ випромінювання на яблука забезпечує їх збереження протягом 6 місяців в умовах зовнішнього середовища при температурі $20^0$ С та тиску 1,01 х$10^5$н/м$^2$. В процесі зберігання яблук було встановлено, що діелектрична проникність повітряної суміші, при диханні яблук за час їх зберігання (6 місяців), змінюється майже в 10 разів від 0,02% до 0,2%. Біохімічний аналіз показав, що обробка яблук перед закладанням на зберігання електромагнітним випромінюванням з встановленими параметрами не змінює якості плодів і не впливає на їх хімічний склад.

***Ключові слова:*** електромагнітне поле, біотропні параметри, грибкові мікроорганізми, етилен, тривале зберігання яблук.

**Постановка проблеми.** В повноцінному харчовому раціоні людини фрукти відносяться до продуктів, які повинні споживатися впродовж усього року, так як вони містять у собі необхідні для організму речовини, такі як вітаміни, органічні кислоти, мікроелементи і т. п.

У зв’язку з цим садівництво займає важливе місце серед галузей сільського господарства України. З розвитком інтенсивного садівництва підвищуються вимоги до тривалості зберігання плодів фруктопродукції. При існуючих способах збереження: звичайна, регульована, модифікована атмосфери не забезпечують захист плодів яблуні від фізіологічних та грибкових захворювань, не гарантують їх збереження у початковій якості на стадії зберігання та реалізації [1]. Основною причиною розвитку захворювань і зниження якості плодів є надмірне накопичення етилену всередині плодів і навколишньому середовищу [2].

У зв’язку з цим виникає необхідність в практичній перевірці нової, більш доступної та менш затратної технології збереження фруктоовочевої продукції на основі електромагнітного випромінювання міліметрового діапазону.

**Аналіз останніх досліджень.** З аналізу літературних джерел відомо, що значна частка втрат плодів (до 40%) у період зберігання припадає на поразку їх фізіологічними розладами й хворобами. Із усієї кількості отриманої продукції вимогам вищого й першого сортів задовольняють не більш 60% плодів. Одна з основних причин зниження якості та розвитку багатьох захворювань плодів і овочів при зберіганні - надмірне накопичення етилену. Етилен синтезується плодами, активізує їх дозрівання. Накопичення етилену в камерах з регульованою атмосферою впливає на окремі процеси обміну речовин, підвищуючи активність деяких ферментів вуглеводного, жирового і білкового обмінів, збільшує інтенсивність дихання, викликає розвиток різного роду хвороб фруктів. Сучасна технологія зберігання плодів в газовому середовищі є не завжди ефективною і дорогою, що викликає необхідність в розробці нових, більш доступних і менш витратних технологій зберігання. Ефективна, недорога і доступна технологія зберігання плодів може бути здійснена за допомогою використання інформаційного електромагнітного випромінювання для знищення фізіологічних і грибкових хвороб і пригнічення синтезу етилену. Аналіз взаємодії інформаційного ЕМП на клітинному рівні показує, що електромагнітне інформаційне випромінювання слід сприймати як найтонший інструмент майже безмежного впливу на біологічні процеси в живому організмі. Однак, бажані зміни властивостей біологічних об'єктів можуть бути отримані тільки при оптимальному поєднанні біотропного параметру впливу ЕМП (частота випромінювання, щільність потоку потужності, експозиція та ін.)

Аналіз літературних джерел показав, що пригнічення патогенних мікроорганізмів під впливом ЄМП НВЧ та КВЧ діапазонів пов’язано з наведеним потенціалом на мембрані клітини. Електричні поля є нормальним чинником функціонування більшості біологічних мембран. Разом з тим, електричні поля високої напруженості викликають появу якісно нових явищ. Відомо, що гіперполяризація клітинної мембрани до деякого критичного значення потенціалу викликає різке збільшення трансмембранного струму - явище, аналогічне електричному пробою діелектриків. Однак у випадку клітинних мембран пробій був повністю зворотнім: при реполяризації клітки низька провідність мембрани відновлювалася, а саме явище

електричного пробою можна було спостерігати неодноразово. Звичайно процес руйнування мембран пов'язують із досягненням параметрів системи деяких критичних значень, після чого процес відхилення стає необоротним і наступає руйнування мембран Поглинаюча енергія змінює метаболічні та біосинтетичні процеси та при певних параметрах ЄМП (частота, потужність, експозиція) може загальмувати та пригнічити клітинний ріст. Теоретичні та експериментальні дослідження останніх років дозволили широко застосовувати ЄМП НВЧ в технологічних процесах переробки та зберіганні сільськогосподарської продукції, в промисловості та медицині.

**Формулювання цілей статті.** Процес впливу інформаційних електромагнітних випромінювань на інгібування синтезу етилену плодами яблунь у процесі їх тривалого зберігання в умовах зовнішнього середовища.

**Основні матеріали дослідження.** Між плодами й навколишнім середовищем при зберіганні відбувається постійний дихальний газообмін, необхідний для життєдіяльності клітин, які використовуючи накопичені раніше запаси живильних речовин, поглинають кисень і виділяють вуглекислий газ, водяні пари й летучі органічні речовини (етилен і ряд речовин, що утворюють у сукупності аромат плодів). Кисень повітря надходить спочатку в міжклітинний простір плода, потім переходить у клітку й утягується в процес дихання. Вуглекислий газ, що виділяється в процесі дихання, рухається у зворотному напрямку із клітин міжклітинний простір, а потім в оточуючий плід середовище. У тканинах яблук при зберіганні на повітрі втримується 10…14% кисню та 8 -15% вуглекислого газу. У зв'язку з тим, що в повітрі втримується кисню більше (близько 21%), його парціальний тиск у навколишньому середовищі вище, ніж у тканинах плода, тому кисень проникає в м'якоть через шкірку. З вуглекислим газом відбувається зворотне - його парціальний тиск у м'якоті вищий, ніж у повітрі, тому вуглекислий газ виділяється із плода у повітря. При незмінних параметрах навколишнього середовища й стану плодів газообмін в обох напрямках протікає в умовах досягнутої рівноваги, тобто з однією й тією ж швидкістю, при якій концентрація газів усередині тканин і, отже, інтенсивність подиху плодів більш-менш однакові.

При зміні концентрації окремих компонентів продукції у навколишньому середовищі змінюється парціальний тиск цих газів і тим самим порушується встановлений за інших рівних умов газообмін. Якщо, наприклад, понизити концентрацію кисню в

навколишньому середовищі й підвищити в ній концентрацію вуглекислого газу, то можна відповідно зменшити концентрацію кисню й збільшити концентрацію вуглекислого газу в міжтканинному просторі й цим загальмувати інтенсивність їх дихання. Таким чином, регулюючи дихальний газообмін, можна впливати на біохімічні процеси й попередити старіння плода. При цьому багато компонентів плодів зберігаються краще, ніж при звичайних умовах холодильного зберігання, менше витрачається кислот, цукрів, затримується розпад хлорофілу, повільніше накопичуються етилен і летучі ароматичні речовини, що є додатковими прискорювачами дозрівання плодів. Усе це сприяє зменшенню втрат, а також скороченню якості й харчової цінності плодів.

Проведений аналіз показав, що найважливішим фактором тривалого зберігання фруктів є рівень інтенсивності їх клітинного дихання. Цей окисний розпад органічних речовин супроводжується утворенням хімічно активних метаболітів і звільненням енергії, яка використовується клітинами для процесів життєдіяльності. Природно, що зростання функціональної активності клітин супроводжується посиленням дихання. У значній мірі це досягається завдяки механізму дихального контролю. У період, що відповідає повному дозріванню соковитих плодів, спостерігається значне короткочасне посилення дихання тканин плода, після чого відбувається неухильне падіння поглинання $O_2$. Цей процес супроводжується посиленим утворенням етилену, який має на обмін двоякий вплив. З однієї сторони збільшується проникність мембран і підсилюється гідроліз білків, у результаті чого зростає кількість доступних дихальних субстратів. З іншого боку, у період підйому дихання стимулюється синтез білків [3]. Для того, щоб уникнути більших втрат урожаю яблук при їхньому тривалому зберіганні, необхідно постійно контролювати вміст етилену в газовому середовищі з яблуками. Оскільки діелектрична проникність повітря $\varepsilon'_в$=1,00059, то ми повинні при вимірі діелектричної проникності газового середовища забезпечити правильне значення п'ятого знаку після коми. Це відповідає точності порядку $10^{-3}$% для величини $\varepsilon'$ або (1÷2)% для величини ($\varepsilon'$-1)

Усі наведені вище дані говорять про те, що мета тривалого збереження плодів рослин може бути досягнута за допомогою зменшення транспорту іонів і протонів через мембрану рослинної клітки. До розв'язання цього завдання може призвести або створення відповідних електричних полів, що протидіють зазначеному транспорту, або закриття каналів, по яких цей транспорт здійснюється [5].

Проведений аналіз теоретичних досліджень показав, що електромагнітне поле підвищує концентрацію струмопереносних іонів у мембрані, що призводить відповідно до підвищення їх взаємодії та можливому запиранні каналу. Таким чином, вільний рух іонів через мембрану клітини, який необхідний для процесу дихання, буде гальмуватися, а саме процес дихання та всі обмінні процеси стають уповільненими [4].

Для тривалого зберігання в 2017-2018 р. були обрані яблука сорту "Голден" у господарстві «Україна» Харківської області. При проведенні виробничого експерименту яблука на початку оброблялися електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 75,8 ГГц; потужність 650 мВт; експозиція 60 с. [6]. Потім ці ж яблука оброблялися електромагнітним випромінюванням з параметрами: частота 35 ГГц; потужність 1,2 Вт; експозиція 20 с. такий метод обробки яблук електромагнітним випромінюванням з оптимальними параметрами підвищив імовірність можливого блокування каналів руху іонів практично в 7-8 разів.

Застосування комбінованого випромінювання дозволило повністю знищити мікроорганізми на поверхні яблук (табл. 1) і блокувати їхнє дихання перед закладкою на зберігання. Контроль над диханням яблук у процесі їх зберігання здійснювався за допомогою диференціальної резонаторної установки з параметрами: номінальна частота відкритих резонаторів (ВР) 75 ГГц; добротність резонаторів не менше 4870; чутливість вимірювань $10^{-6}$ по $\Delta\varepsilon'$. Температура навколишнього середовища при зберіганні яблук не перевищувала 18-$20^0$ С, а тиск складав $1{,}01^x10^5$ н/м$^2$. Результати зберігання яблук наведені в табл. 1.

Таблиця 1

**Чисельність мікроорганізмів на поверхні яблук перед закладкою на зберігання (число кліток на 1гр. яблук)**

| Варіанти | Сапрофітні бактерії | | | | Середнє за повторюваністю |
|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | |
| контроль | 2,0 $10^3$ | 2,1 $10^3$ | 2,2 $10^3$ | 2,1 $10^3$ | 2,1 $10^3$ |
| дослід | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 |
| Цвільові гриби | | | | | |
| контроль | 6 | 5 | 6 | 3 | 5,0 |
| дослід | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 |
| Дріжджові клітини | | | | | |
| контроль | 50 | 50 | 51 | 53 | 51,0 |
| дослід | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,0 |

Проведений дослід показує, що комбінований вплив ЕМ випромінювання на яблука забезпечує їхнє зберігання протягом 6 місяців в умовах зовнішнього середовища.

У процесі зберігання яблук було встановлено, що діелектрична проникність повітряної суміші, при диханні яблук за час їх зберігання (6 місяців), змінилася майже в 10 раз від 0,02% до 0,2% [7].

Для визначення хімічного складу яблук до обробки електромагнітним випромінюванням, після обробки та після шестимісячного зберігання, були проведені біохімічні аналізи. Результати цих аналізів наведено в табл. 2.

Таблиця 2

**Результати зберігання яблук після електромагнітної обробки**

| Варіант досліду | Дослідні партії, кг | | | | Загальна кількість, кг | Строк зберігання, днів | Вихід стандартної продукції, % | Зміна дихання яблук в процесі їх зберігання |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
| контроль | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 60 | 51 | Понад 100 |
| №1 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 30 | 100 | 10 |
| №2 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 60 | 100 | 22 |
| №3 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 90 | 100 | 38 |
| №4 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 120 | 100 | 62 |
| №5 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 150 | 100 | 83 |
| №6 | 225 | 225 | 225 | 225 | 900 | 180 | 100 | 98 |

У процесі зберігання яблук було встановлено, що діелектрична проникність повітряної суміші, при диханні яблук за час їх зберігання (6 місяців), змінилася майже в 10 раз від 0,02% до 0,2%.

**Висновок.** Для блокування дихання яблук перед закладкою на зберігання їх необхідно обробляти електромагнітним випромінюванням з певними біотропними параметрами ЄМП, що дозволяють, як показали результати апробаційних роботіт, знищити мікроорганізми на поверхні плодів, блокувати дихання і збільшити строк зберігання яблук до 180 діб при температурі 18-20$^0$ С в умовах зовнішнього середовища.

**Список використаних джерел**

1. *Гудковский В. А., Кожина Л. В., Балакирев А. Е.* Эффективность модифицированной атмосферы и ингибитора биосинтеза этилена для хранения плодов, ягод и овощей. *Вестник МичГАУ*. 2009. Вып. 1. С. 53-56.

2. *Криворот А. М.* Хранение плодов: опыт и перспективы. Минск: Полибиг, 2001. 215 с.

3. *Рубин А. Б.* Термодинамика биологических процессов. Москва: МГУ, 1984. 283 с.

4. *Бородай И. И.* Биохимические и биофизические основы хранения плодов. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. Харків, 2016. Вип. 176: *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. С. 84-87.

5. *Бородай И. И.* Моделирование процесса переноса ионов через мембраны клеток под воздействием внешнего электромагнитного поля. *Вісник Нац. техн. ун-ту "ХПІ". Сер.: Системний аналіз, керування та інформаційні технології*. Харків, 2016. № 45. С. 18-21.

6. *Бородай И. И.* Исследование технических параметров системы для обработки яблок электромагнитным излучением. *Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. Харків, 2017. Вип. 186: *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* С. 139-142.

7. *Бородай И. И.* Экспериментальные исследования с яблоками, обработанных перед хранением электромагнитным излучением. *Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва ім. П. Василенка*. Харків, 2017. Вип. № 1(6): *Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК*. С. 70-72.

## АПРОБАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЛИЯНИЯ ЭМП НА ПРОЦЕСС СОХРАННОСТИ ЯБЛОК

**Бородай И. И., Кунденко Н. П., Єгорова О. Ю., Єгоров А. Б., Шинкаренко И. Н.**

***Аннотация*** - в полноценном пищевом рационе человека важное место занимают фрукты, содержащие такие необходимые для организма вещества как витамины, органические кислоты, микроэлементы и т.п. Фрукты относятся к продуктам, которые должны потребляться в течение всего года. В связи с этим возникает проблема хранения плодов в течение 6-7 месяцев. Существующие способы хранения: обычная, регулируемая, модифицированная атмосферы не обеспечивают защиту плодов яблони от физиологических и грибковых болезней, не гарантируют сохранения их исходного качества на стадиях хранения и реализации. Основной причиной развития заболеваний и снижения качества плодов является избыточное накопление этилена внутри плодов и окружающей среде. Из анализа литературных источников следует, что значительная часть потерь плодов (до 50%) в период хранения приходится на поражение их физиологическими расстройствами и болезнями. Из всего количества полученной продукции требованиям высшего и первого сортов соответствуют не более 60%

плодов. Проведенный анализ показал, что важнейшим фактором длительного хранения фруктов является уровень интенсивности их клеточного дыхания.

Решение данной задачи, связанной с длительным сохранением качества плодов, является ингибирование синтеза этилена с помощью химических средств (препарат «Фитомаг» и др.), Которые тормозят процессы старения. Основной недостаток от применения химических средств заключается в том, что они накапливаются в плодах. Современная технология хранения плодов в газовой среде является не всегда эффективной, более того дорогой, вызывает необходимость в разработке новых, более доступных и менее затратных технологий хранения. Эффективная, недорогая и доступная технология хранения плодов может быть осуществлена посредством использования информационного электромагнитного излучения для уничтожения физиологических и грибковых болезней и угнетение синтеза этилена. Анализ взаимодействия информационного ЭМП на клеточном уровне показывает, что электромагнитное информационное излучения следует воспринимать как тончайший инструмент почти безграничного влияния на биологические процессы в живом организме. Однако, желаемые изменения свойств биологических объектов могут быть получены только при оптимальном сочетании биотропных параметров ЭМП (влияет частота излучения, плотность потока мощности, экспозиция и др.). В результате расчетов было установлено, что максимальное блокирование движения ионов через каналы в мембране клетки возможно электромагнитным излучением с частотой 33,5 ... 36 ГГц, экспозицией 20 с мощностью 1,2 Вт, а искусственно создаваемый потенциал на мембране не должен быть более 120 мВ.

В результате исследований создана резонаторная система измерения количества этилена, выделяемого яблоками, со следующими техническими данными: номинальная частота кварцевых генераторов 100 МГц; относительное значение средней нестабильности частоты кварцевых генераторов в нормальных условиях при установленной температуре не превышает $10^{-7}$ по $10^{-3}$ с; номинальная частота резонаторов 75 ГГц; добротность резонаторов не менее 4870; чувствительность измерений $10^{-6}$ по $\Delta\varepsilon'$. Для длительного хранения в 2017-2018 г. Были выбраны яблоки сорта «Голден» в хозяйстве Харьковской области. При проведении производственного эксперимента яблоки в начале обрабатывались электромагнитным излучением с параметрами: частота 75,8 ГГц; мощность 650 мВт; экспозиция 60 с. Затем эти же яблоки обрабатывались электромагнитным излучением с параметрами: частота 35 ГГц; мощность 1,2 Вт экспозиция 20 с. Применение комбинированного излучения позволило полностью уничтожить микроорганизмы на поверхности яблок и блокировать их дыхание перед закладкой на хранение. Проведенный опыт показывает, что комбинированное действие ЭМ излучения на яблоки обеспечивает их сохранность в течение 6 месяцев в условиях внешней среды при температуре $20^0$ С и давлении 1,01 х$10^5$н / м2. В процессе хранения яблок было установлено, что диэлектрическая проницаемость смеси, при дыхании яблок за время их хранения (6 месяцев), меняется почти в 10 раз от 0,02% до 0,2%. Биохимический анализ показал, что обработка яблок перед закладкой на хранение электромагнитным излучением с установленными параметрами не меняет качества плодов и не влияет на их химический состав.

***Ключевые слова:*** электромагнитное поле, биотропные параметры, грибковые микроорганизмы, этилен, длительное хранение яблок.

# APPROBATION OF RESULTS OF THE EFFECT OF EMP ON THE PROCESS OF SAFETY OF APPLES

**I. Boroday, M. Kundenko, O. Yegorova, O. Yegorov, I. Shynkarenko**

***Summary.*** In the dietary intake of humans an important place is occupied by fruits containing such substances necessary for the body as vitamins, organic acids, trace elements, etc. Fruits are products that should be consumed throughout the year. Inconnectionwiththis, theproblemarisesofpreservingthefruitwithin 6-7 months. Existing methods of storage: conventional, regulated, modified atmosphere do not provide protection of apple fruits from physiological and fungal diseases. In addition to that they do not guarantee preservation of their initial quality at the stages of storage and sale. The main cause of the development of diseases and a decrease in the quality of the fruit is the excessive accumulation of ethylene inside the fruit and the environment. Based on source analysis it is obvious that significant proportion of fruit losses (up to 50%) during the storage period is due to their physiological disorders and diseases. From the total quantity of manufactured products no more than 60% of the fruits satisfy the requirements of the higher and the first class. The analysis showed that the most important factor of long-term fruit storage is the intensity level of their cellular respiration. This oxidative process of decomposition of organic substances is accompanied by creation of chemically active metabolites and liberation of energy tht is used by cages for the vital processes. The process of breathing in some sense is similiar to the burning process in both cases heat is released. In both processes, oxygen is added to the substrate, so breathing is a slowly flowing burning of nutrients in the living body. The solution to long-term preservation of fruit quality problem is the inhibition of the synthesis of ethylene with the help of chemical agents ("Phytomag" drug etc.), which inhibit the aging process. The main drawback of using chemicals is that they accumulate in the fruit. Modern technology of storing fruits in the gas environment is not always effective furthermore it’s expensive. Thus it forces development of new more affordable and less expensive storage technologies. Effective, inexpensive and affordable technology for storing fruits can be achieved by using information electromagnetic radiation to destroy physiological and fungal diseases and to inhibit the synthesis of ethylene. Analysis of the interaction of information EMF at the cellular level shows that electromagnetic information radiation should be perceived as a subtle instrument of almost unlimited influence on biological processes in a living organism. However the desired changes in the properties of biological objects can be obtained only with the optimal combination of biotropic parameters of the influencing EMF (radiation frequency, power flux density, exposure, etc.). At the same time an analysis of a large number of domestic and foreign studies shows that they lack theory for calculation of the numerical values of the biotropic EMF parameters for inhibition of the synthesis of ethylene. In addition to that insufficient research has been done on the development of electronic systems for measuring concentration ethylene, carbon dioxide and oxygen for prolonged storage of apple fruits.

Thus research and development of information electromagnetic methods and electronic systems for monitoring the gas environment for long-term fruit storage is an urgent problem.

It is possible to establish aspects of the effect of electromagnetic fields associated not with the power of the impact and the absorbed energy but with information encoded in the biotropic EMF parameters based on theoretical studies which are not available at this moment. Based on theoretical studies biotropic EMF parameters (frequency, power, exposure) of electro-magnetic field inside the cell were calculated which allow to cause the blocking of the respiration of apples. External space relative to the scatterer is assumed to be homogeneous. Measurement of the minimum amount of ethylene $\Delta\varepsilon'_{\min} = 0,02\%$ and maximum $\Delta\varepsilon'_{max} = 0,2\%$ is possible by usage of a multiplication factor $N_{уч}$=750, frequency of the crystal oscillator 100 MHz and its relative frequency instability $10^{-6}\ldots10^{-7}$. Asaresultoftheresearch, a resonator system was created for measuring the amount fethylenere leased by apple switch the following technical parameters: the nominal frequency of quartz generators is 100 MHz; the relative value of the average instability of frequency of quartz generators under normal conditions at a steady temperature does not exceed $10^{-7}$for$10^{-3}$s; nominal frequency of resonators is 75 Hz; quality of resonators not less than 4870;measurement sensitivity$10^{-6}$ by$\Delta\varepsilon'$. In order to block the breathing of apples by electromagnetic radiation an installation was developed which includes: a diffraction radiation generator operating in the frequency range 33-37 GHz. Apples of the brand Golden were chosen for long-term storage in 2017-2018in the farm at the Kharkov region. During the production experiment apples were initially processed with electromagnetic radiation with parameters: frequency 75.8 GHz; power 650 mW; exposure 60s.Then these same apples were treated with electromagnetic radiation with parameters: frequency of 35 GHz; Power 1.2 W; Exposure 20 s.The use of combined radiation allowed to completely destroy microorganisms on the surface of apples and block their breath before depositing for storage. Experiment has shown that the combined effect of EM radiation on apples ensures their safety for 6 months in an environment with the temperature $20^0$C under pressure of 1,01 x$10^5$ N/m$^2$. During the process of apple storage it was found that the dielectric constant of the air mixture during this time (6 months) will change almost 10 times from 0.02% to 0.2%.Biochemical analysis showed that the processing of apples prior to laying for storage with electromagnetic radiation with calculated parameters does not change the quality of the fruit and does not affect their chemical composition.

**Keywords:** electromagnetic field, biotropic parameters, fungal microorganisms, ethylene, long storage of apples.

**УДК 621.38** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-23**

# ВИБІР МЕТОДУ І ПРИСТРОЮ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ДІЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МОЛОКА

**Кабалдов Ю. К., аспірант[*],**
**Лобода О. І., к.т.н.** https://orcid.org/0000-0003-1532-3366
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел.: +38 (096)-661-3109

***Анотація –*** у статті поставлена задача вибрати метод і пристрій для визначення діелектричних властивостей молока. Встановлено, що діелектричні властивості молока можна описати рівнянням комплексної діелектричної проникності. Аналіз рівняння показує, що не зважаючи на вміст в молоці крім жирових включень, також присутні молочній цукор, білки і сухі речовини, саме жири значно впливають на діелектричну проникність. Зміна концентрації жиру у молоці впливає на значення діелектричної проникності по закону близькому до прямолінійного. Точний контроль вмісту жиру в молоці дозволить більш точно визначити режими сушки молока з використанням енергії електромагнітного поля надвисокої частоти. За результатами аналізу останніх досліджень запропоновано і обгрунтовано метод і пристрій для визначення вмісту жиру в молоці за характеристиками електромагнітного високочастотного сигналу, пропущеного через молоко.

***Ключові слова*:** діелектричні властивості молока, визначення діелектричних властивостей, діелектрики, вміст жиру в молоці, сушка молока, електромагнітне поле.

**Постановка проблеми.** Для розробки технологічних процесів обробки харчових продуктів енергією електромагнітного поля (ЕМП) надвисокої частоти (НВЧ), а також пристроїв для реалізації цих процесів необхідна інформація про діелектричні характеристики сировини, яка піддається обробці. Від значень діелектричних характеристик залежать величини питомої потужності ЕМП НВЧ, яка трансформується в теплоту, а також глибина проникнення НВЧ-поля у продукт. Також слід зазначити, що діелектричні характеристики продукту залежать від частоти ЕМП, хімічного складу і температури продукту. Молоко, як харчовий продукт, представляє собою складну гетерогенну суміш, до складу якої входить 87,5 % води, 12,5 % - сухих речовин, 3,3 % - білків, 3,5 % - жирів, 4,7 % - молочного цукру, 1 % - мінеральних речовин. Через наявність жиру і сухих речовин у своєму складі діелектричні властивості молока значно відрізняються від діелектричних властивостей води, попри її великий

[*] Науковий керівник: Лобода О.І., к.т.н.

© Кабалдов Ю. К., Лобода О. І.

вміст у молоці. Тому визначення ефективного методу визначення діелектричних властивостей молока є першим і дуже важливим аспектом для вивчення процесу сушки молока з використанням НВЧ-енергії.

**Аналіз останніх досліджень**. Діелектричні властивості молока можна описати за допомогою комплексної діелектричної проникності [1]

$$\varepsilon = \varepsilon' - j\,\varepsilon'' \quad (1)$$

де $\varepsilon'$- дійсна частина, діелектрична проникність,

$\varepsilon''$- уявна частина, фактор втрат (коефіцієнт поглинання).

Дійсна частина $\varepsilon'$ прямо впливає на кількість енергії, яка може акумулюватися у матеріалі у вигляді електричного поля. Уявна частина $\varepsilon''$показує скільки енергії матеріал може розсіяти у формі теплоти. Відношення енергії, яка витрачається на нагрівання, до енергії, яка накопичується за період електромагнітних коливань називається тангенсом кута діелектричних втраті визначається за формулою

$$tg\delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'} \quad (2)$$

У таблиці 1 представлено діелектричні властивості знежиреного молока в залежності від масової долі сухих речовин при температурі 20 °С і частоті електромагнітного поля 2450 МГц [2].

Таблиця 1.

**Діелектричні властивості знежиреного молока**

| Масова доля сухих речовин, % | $\varepsilon'$ | $\varepsilon''$ |
|---|---|---|
| 9 | 69,8 | 15,7 |
| 11 | 68,1 | 16,5 |
| 13 | 66,4 | 17,3 |
| 15 | 64,7 | 18 |
| 17 | 63 | 18,8 |

Встановлено, що діелектриками можуть бути рідини, тверді тіла або неіонізовані гази, через які проникає електричне поле, але які погано проводять електричний струм. В залежності від природи діелектриків і їх агрегатного стану існують різні методи визначення діелектричних властивостей: хвильові, резонансні, оптичні, калориметричні, пондеромоторні та інші. Методи виміру ємності і діелектричних втрат відрізняються один від одного тим, що застосовуються різні частоти

електричного поля. У постійному полі при низьких частотах (десяті долі герц) ємність визначають шляхом виміру зарядного або розрядного струму конденсатору за допомогою балістичного гальванометру. У високочастотній області (від $10^5$ до $10^8$ Гц) для вимірювання ємності $C_\varepsilon$ і діелектричної проникності ε застосовують резонансні методи. Суть методу полягає в тому, що коливальний контур, який в своєму складі має зразковий конденсатор, налаштовується в резонанс і вимірюється відповідна резонансу величина ємності C'. Після чого паралельно зразковому конденсатору підключають конденсатор з діелектриком $C_\varepsilon$ і контур знову налаштовується у резонанс. У цьому випадку ємність зразкового конденсатору C" буде меншою. Після чого ємність конденсатору з діелектриком $C_\varepsilon$ розраховується за формулою

$$C_\varepsilon = C' - C'' \quad (3)$$

Різні резонансні методи відрізняються один від одного за способом визначення тангенса кута діелектричних втрат $tg\delta$. В методі заміщення діелектрик заміщують еквівалентною схемою, яка складається з ємності і опору. Підбирають такий опір, який при вмиканні послідовно або паралельно зразковому конденсатору буде давати такий же резонансний струм в контурі, як і зразок діелектрика. При цьому ємність зразкового конденсатору обирають так, щоб вона була однакова з діелектриком. В той час як метод розладу контуру заснований на тому, що ширина резонансної кривої контуру відрізняється його добротністю Q, яка пов'язана з тангенсом кута діелектричних втрат відношенням

$$tg\delta = \frac{1}{Q} \quad (4)$$

В області надвисоких частот від $10^8$ до $10^{11}$ Гц діелектричні виміри засновані на використанні об'ємних резонаторів і радіохвилеводів, а також на закономірностях розповсюдження електромагнітних хвиль у вільному просторі. За іншою методикою виміру діелектричних характеристик спостерігають за стоячими хвилями у хвилеводі, навантаженому відомим опором, або спостерігають за поглинанням хвиль, які проходять через діелектрик [1].

**Формулювання цілей статті** Синтез ефективного методу визначення діелектричних властивостей молока, що є важливим аспектом для вивчення процесу сушки молока з використанням НВЧ-енергії

**Основна частина.** Запропоновано і обґрунтовано метод і пристрій контролю вмісту жиру в молоці за характеристиками електромагнітного високочастотного сигналу, пропущеного через молоко. Суть методу полягає в тому, що молоко з різним вмістом жиру, що протікає через обкладинки ємнісної комірки змінює амплітудо- і фазочастотні характеристики несинусоідального періодичного електромагнітного високочастотного сигналу, який подається на обкладинки. На вимірювальний первинний перетворювач рис. 1, виконаний з послідовно увімкнутих активного опору і ємнісної комірки, між обкладинками якої знаходиться молоко, з виходу генератора подають високочастотні несинусоідаьні періодичні електромагнітні коливання u

$$u = U_{(1)max}\, sin\left(\omega t + \psi_{(1)}\right) + \sum_{k=2}^{n} U_{(k)max} sin(k\omega t + \psi_{(k)}), \qquad (5)$$

де $U_{(1)max}, \psi_{(1)}$- максимальне значення і початкова фаза основної гармоніки початкової напруги;

$U_{(k)max}, \psi_{(k)}$- максимальне значення напруги і початкова фаза k-тої гармоніки;

$\omega = 2\pi f$ – кутова частота основної гармоніки.

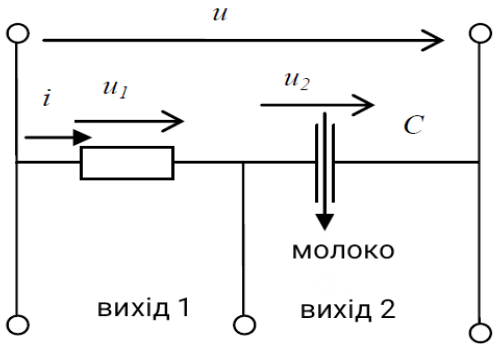



Рис. 1. Схема заміщення вимірювального первинного перетворювача

Відповідно, напруги, які знімаються з активного опору і ємнісної комірки, також є несинусоідальними функціями виду

$$u_1 = U_{1m(1)}\, sin\left(\omega t + \psi_{1(1)}\right) + \sum_{k=2}^{n} U_{1m(k)}\, sin\left(k\omega t + \psi_{1(k)}\right) \qquad (6)$$

$$u_2 = U_{2m(1)}\, sin\left(\omega t + \psi_{2(1)} - 90°\right) + \sum_{k=2}^{n} U_{2m(k)}\, sin\left(k\omega t + \right.$$
$$\left. + \psi_{2(k)} - 90°\right) \qquad (7)$$

де $u_1 = f(i)$ і $u_2 = f(i, C, \omega, k)$;

$i$ – миттєве значення несинусоідального струму вимірювального первинного перетворювача.

В свою чергу

$$C = f(S, d, \varepsilon^*), \quad (8)$$

де $\varepsilon^*$- комплексна діелектрична проникність молока;
$S$ і $d$ – площа електродів і відстань між ними;
$C$ – електрична ємність.

Процеси, що протікають в діелектриках, яким і є молоко, в електричному полі визначається комплексною діелектричною проникністю

$$\varepsilon^* = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_{\omega 0} - \varepsilon'_\infty}{1 + j\omega\tau}, \quad (9)$$

де $\varepsilon'_\infty$ - діелектрична проникність, виміряна при високій частоті;
$\varepsilon'_{\omega 0}$ - квазістатичне значення діелектричної проникності (при $\omega \to \infty$);
$\tau$ – час релаксації.

З формули (9) виділяємо активну і реактивну складові діелектричної проникності і отримуємо вирази для кожного виміру

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + \frac{\varepsilon'_{\omega 0} - \varepsilon'_\infty}{1 + \omega^2\tau^2}, \quad (10)$$

$$\varepsilon'' = (\varepsilon'_{\omega 0} - \varepsilon'_\infty)\frac{\omega\tau}{1 + \omega^2\tau^2} \quad (11)$$

Так як молоко є багатокомпонентною сумішшю, кожен компонент якої має різний час релаксації, $\varepsilon'$і $\varepsilon''$ для всієї сукупності вимірювань можна описати виразами

$$\varepsilon' = \varepsilon'_\infty + (\varepsilon'_{\omega 0} - \varepsilon'_\infty)\int_0^\infty \frac{p(\tau)d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad (12)$$

$$\varepsilon'' = (\varepsilon'_{\omega 0} - \varepsilon'_\infty)\int_0^\infty \frac{\omega\tau p(\tau)d\tau}{1 + (\omega\tau)^2}; \quad (13)$$

де $p(\tau)$ – відносна ймовірність того, що час релаксації дорівнює $\tau$.

З формул (12) і (13) бачимо, що активна і реактивна складові комплексної діелектричної проникності залежать від частоти. Частотна дисперсія діелектричної проникності молоко до частот 10-20 МГц невелика і спостерігається тільки при високих частотах діапазону, де $\varepsilon'$ знижується до значення 52,8 через процеси релаксації поляризації.

Відомо, що діелектрична проникність молока змінюється в діапазоні 53…80. Важливо, що струм у вимірювальному первинному перетворювачі змінюється по закону близькому до лінійного при зміні вмісту жиру в молоці. Солі і білки, які також входять до складу молока, носять малоймовірний вплив на точність вимірювань [2].

**Висновок.** Таким чином, при зміні вмісту жиру в молоці, змінюється комплексна діелектрична проникність молока $\varepsilon^*$, що призводить до зміни вихідних напруг вимірювального первинного перетворювача: $u_1$- на активному опорі і $u_2$- на ємності. Розклавши вихідні напруги $u_1$і $u_2$ у гармонічні ряди за початковими фазами і амплітудами напруг основної і вищих гармонік можна судити про точний вміст жиру в молоці. Тому запропонований метод і пристрій вимірювання вмісту жиру в молоці є ефективним рішенням поставленої задачі.

**Список використаних джерел.**

1. Чернушенко А. М. Конструирование экранов и СВЧ-устройств: Учебник для вузов / А. М. Чернушенко, Б. В. Петров, Л. Г. Малорацкий и др.; Под ред. А. М. Чернушенко. - М. : Радио и связь, 1990. - 352 с.
2. Рогов И. А, Сверхвысокочастотпый нагрев пищевых продуктов / И. А. Рогов, С. В. Некрутман. - М., 1986. – 350 с.

## ВЫБОР МЕТОДА И УСТРОЙСТВА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОЛОКА

**Кабалдов Ю. К., Лобода А.И.**

***Аннотация*** **–** в статье поставлена задача выбрать метод и устройство для определения диэлектрических свойств молока. Установлено, что диэлектрические свойства молока можно описать уравнением комплексной диэлектрической проницаемости. Анализ уравнения показал, что несмотря на содержание в молоке кроме жировых включений молочного сахара, белков и сухих веществ, именно жировые включения значительно влияют на диэлектрическую проницаемость. Изменение содержания жиров в молоке меняет значение диэлектрической проницаемости по закону близкому к прямолинейному. Точный контроль содержания жира в молоке позволит более точно определить режимы сушки молока с применением энергии электромагнитного поля сверхвысокой частоты. Исходя из результатов последних исследований, предложено и обосновано метод и устройство для определения содержания жира в молоке по характеристикам электромагнитного высокочастотного сигнала, пропущенного через молоко.

***Ключевые слова*****:** диэлектрические свойства молока, определение диэлектрических свойств, диэлектрики, содержание жира в молоке, сушка молока, электромагнитное поле.

# SELECTION METHOD AND DEVICE FOR DETERMINATION OF MILK DIELECTRIC PROPERTIES

**Kabaldov Y., Loboda O.**

## Summary

The article aims to choose a method and device for determining the dielectric properties of milk. For the development of technological processes for the processing of food by the energy of the electromagnetic field of ultra high frequency, as well as devices for the implementation of these processes, information about the dielectric characteristics of the raw material to be processed is required. It is established that the dielectric properties of milk can be described by the equation of complex dielectric permeability. Analysis of the equation showed that, despite the content in milk, in addition to fat inclusions, dairy sugar, proteins and dry substances, it is fat inclusions that significantly affect the dielectric constant. The change in the fat content in milk changes the value of the dielectric constant according to a law close to straight. Accurate control of the fat content in milk will make it possible to more accurately determine the mode of drying of milk using the energy of the electromagnetic field of ultra-high frequency. Offered and proved method and device controls the fat content of milk on the characteristics of high electromagnetic signal passed through the milk. The essence of the method is that milk with different fat content flowing through the covers of the container cell changes the amplitude and phase characteristics of the non-sinusoidal periodic high-frequency electromagnetic signal applied to the covers. Based on the results of recent studies, a method and device for determining the fat content in milk according to the characteristics of an electromagnetic high-frequency signal passed through milk has been proposed and justified.

**Keywords:** dielectric properties of milk, determination of dielectric properties, dielectrics, fat content in milk, drying of milk, electromagnetic field**.**

**УДК 631.562:633.1** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-24**

# ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРЕХІДНОГО ОПОРУ І ПОКАЗНИКА РОЗРЯДЖЕННЯ ОКРЕМОГО НАСІННЯ

**Чебанов А. Б., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-8457-0574**
**Чебанова Ю. В., інженер** **http://orcid.org/0000-0001-8748-9627**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
*Тел.: 096-6325965,* chebanov-ab@yandex.ru

***Анотація*** **–** робота присвячена питанню розділення зернової суміші за її фізико-механічними і електричними властивостями. Наведено методику визначення перехідного опору і показника розрядження окремого насіння, значення яких чинять вплив при розділенні зернових сумішей на барабанних електросепараторах. На прикладі пшениці встановлено, що зі збільшенням напруги поля опір зерен зменшується, причому у більш вологих зерен швидше, ніж у менш вологих. Визначення величин перехідного електричного опору різного насіння значно допоможе вплинути на процес електросепарації на барабанних електросепараторах.

***Ключові слова*** **–** зернова культура, електросепарація, барабанна машина, напруженість поля, критерій розділення, міжелектродна відстань.

**Постановка проблеми.** Підвищення врожайності та зниження витрат в процесі виробництва зернових культур певною мірою залежить від якості посівного матеріалу, а відповідно, і від способу його очищення та сортування. Одним з ефективних способів розділення зернових сумішей є електросепарація [1]. Електросепаратори мають певні переваги серед інших типів розділювачів. До них відносять: високий к.п.д., достатня чіткість розділення, простота будови, дуже малі витрати електроенергії. Одним з таких типів електросепараторів є барабанний [2], в якому зернова суміш, що поступила на поверхню обертаючого заземленого електроду-барабана отримує заряд від коронуючого електроду до барабану і під дією сил поля, сил взаємодії зарядженої частинки з плоскістю барабана, відцентрових сил та сил тяжіння відбувається розділення суміші.

Для того щоб вивчити поводження зерен на циліндричному електроді (барабані), що обертається та їх розподіл у полі корінного розряду, необхідно знати характер зміни опору кожного окремо взятого насіння в його природному стані.

© Чебанов А. Б., Чебанова Ю. В.

У сільськогосподарській практиці основна маса насіння очищується в збиральний період – для цього періоду характерне значне коливання вологості середовища, що позначається й на вологості насіння. У період чистки та сортування посівного матеріалу спостерігаються значні коливання температури навколишнього середовища. У зв'язку з цим необхідно знати, як змінюється перехідний опір насіння зі зміною його вологості і температури, що є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Всі методи розділення матеріалів засновані на тому, що частинки суміші розрізнюються за фізико-механічними і електричними властивостями. Використання цих відмінностей і робить можливим розділення.

При механічних способах розділення використовуються відмінності у розмірах, щільності, стану поверхні частинок, тощо [3]. Розділення зернової суміші за електричними властивостями частинок (електропровідність, діелектрична проникність, поляризуємість, здатність приймати та віддавати заряд) засновано на властивостях частинок зернової суміші проводити електричний струм і утримувати поверхневий електричний заряд. Чим гірше частинка проводить електричний струм, тим довше вона утримує електричний заряд. Для розділення використовують статичне електричне поле і поле коронного розряду. Насіння очищають на електросепараторах камерного, барабанного або решітного типів [4]. На відміну від сепараторів камерного і решітного типів, барабанний сепаратор є більш складною конструкцією. Але серед електросепараторів він набув велике розповсюдження при розділенні зернових сумішей в зв'язку з високою якістю розділення [5, 6].

**Формування цілей статті (постановка завдання).** Завданням (ціллю) статті є висвітлення методики визначення перехідного опору і показника розрядження окремого насіння, значення яких чинять вплив при розділенні зернових сумішей на барабанних електросепараторах.

**Основна частина.** Установка для визначення опору окремих зерен, електрична схема якої представлена на рис. 1, складається з високовольтного кенотронного випрямляча 1, приладу з циліндричними електродами 4, між якими вкладалося зерно, та приборів для вимірювання – кило вольтметра 2 та мікроамперметра 3.

Загальний вид пристрою з циліндричними електродами наданий на рис. 2. Він складається з масивної заземленої металічної основи з закріпленими на ньому високовольтним ізолятором 6 зі стійкою 5 та металічним тримачем 2. В отвори стійки та тримача, які знаходяться

на одному рівні, вставлені напрямні 3, положення котрих фіксується гвинтами 1.

Циліндричні електроди 4 міцно закріплені на кінцях напрямних. За допомогою гвинтів 1 міжелектродну відстань можна регулювати. Положення зерна, укладеного між електродами, повинно відповідати найбільш вірогідному його стану на осадному електроді у процесі електросепарації.

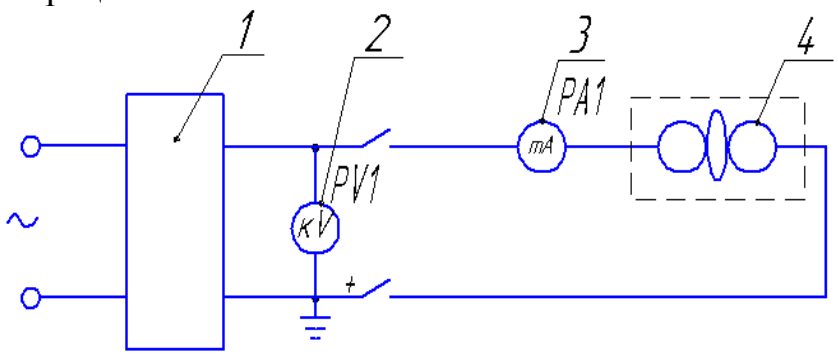



Рис. 1. Схема установки для визначення опору окремого насіння:
1- випрямляч; 2 – кіловольтметр, 3 – мікроамперметр,
4 – циліндричні електроди

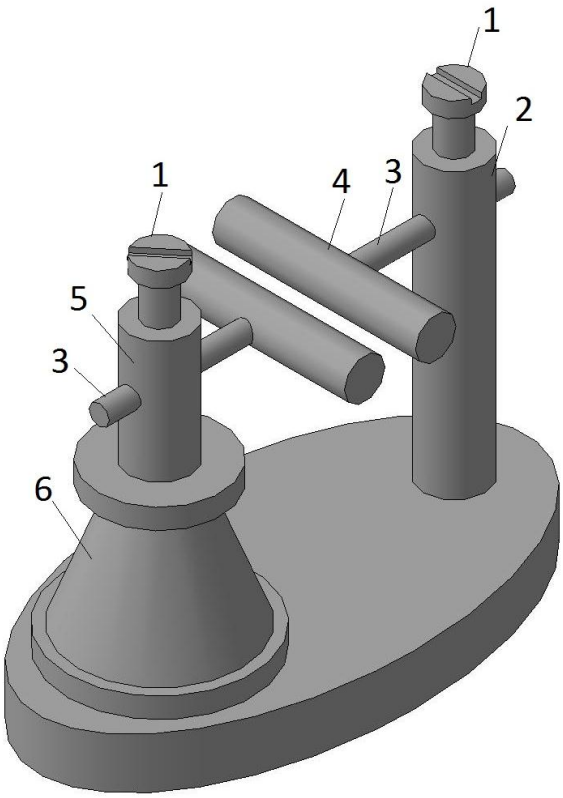



Рис. 2. Електродний пристрій для визначення опору окремого насіння: 1- гвинти; 2 – металевий утримувач, 3 – направляючі, 4 – циліндричні електроди, 5 – стійка, 6 – ізолятор.

Опір зерна – це сумарний перехідний електричний опір, який визначається розрахунковим шляхом:

$$R_ц = \frac{U}{I}, \quad (1)$$

де $U$ – покази кіловольтметра;

$I$ – покази мікроамперметра.

Спрощена еквівалентна схема заміщення сумарного перехідного опору насіння для випадку, що розглядається приведена на рис. 3.

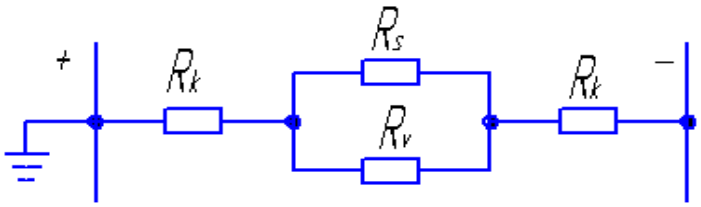



Рис. 3. Схема заміщення перехідного опору насіння:
$R_к$ – опір контакту між зерном і електродом; $R_S$ – поверхневий опір зерна, $R_V$ – об'ємний опір.

Розтікання струму при накладанні напруги відбувається як через об'єм тіла, так і по поверхні. Інтенсивність розтікання неоднакова і залежить від діелектричних якостей та структури тіла, його фізичного стану та ступеня зволоження. У зерна, як показали досліди, струм розтікається в основному по поверхні. Поверхнева електропровідність властива діелектрикам з пористою структурою. Зерно ж має велику кількість пір не тільки в плівках, але й в самій зернині (м'які пшениці).

Зі збільшенням температури опір зерна знижується. Така зміна опору у функції температури властива тілам, які можуть мати властивості як діелектриків, так і напівпровідників [7].

З підвищенням температури у насінні збільшується швидкість руху основних іонів кристалічної решітки, отже, збільшується електропровідність; якщо при помірній температурі у процесі електропровідності приймають участь тільки слабо закріплені іони, то по мірі її збільшення починають рухатися й іони з більш сильними зв'язками.

Встановлено, що електричний струм, що проходить через насіння (діелектрик) при накладенні постійної напруги за схемою на рис. 1, поступово убуває із збільшенням часу [7].

Зменшення струму у часі через насіння відбувається внаслідок процесу поляризації. У даному випадку поляризація може бути структурною та орієнтаційною. Після закінчення процесу поляризації, а для насіння він може тривати більше 5 хвилин, встановлюється постійне значення наскрізного струму, що визначає електропровідність даного насіння.

Однак опір зерна, під час електросепарації, визначався як частка від ділення напруги на величину струму, виміряного через 2 секунди після включення напруги, тобто з врахуванням не вирівняних поляризаційних струмів. Такий час відліку було обрано виходячи з реальних умов перебігу процесу електросепарації у часі.

Так як при електросепарації зерна для отримання найкращого технологічного ефекту можливо варіювання напруги поля, необхідно знати, як змінюється опір зерна в залежності від зміни напруги поля.

На рис. 4 на прикладі пшениці розглянута зміна напруги насіння у функції напруженості прикладеного поля.

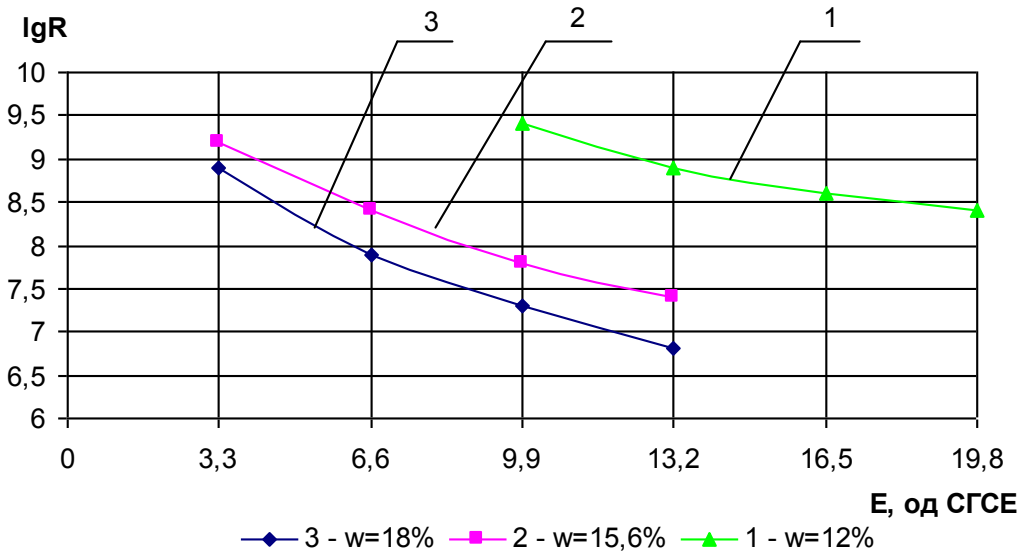



Рис. 4. Зміна напруги насіння у функції напруженості прикладеного поля

При всіх наведених вологостях зі збільшенням напруги поля опір зерен зменшується через появу електричного струму, причому у більш вологих зерен швидше, ніж у менш вологих. Це свідчить про те, що зерно переходить зі стану діелектрика у стан напівпровідника.

Величина перехідного електричного опору значно впливає на процес електросепарації. Опір насіння $R_ч$ визначає величину показника розрядки $\mu$, що залежить від цілого ряду факторів:

$$\mu = \frac{1 + 2R_ч C\beta_к - \sqrt{1 - 4R_ч C\beta_к}}{2R_ч C\beta_к}. \quad (2)$$

У той же час внаслідок безперервного процесу зарядки і розрядки на осадному електроді сталий залишковий заряд пропорційний $\mu$.

Для визначення величини показника розрядки зерен необхідно визначити ємність $C$ системи «зерно-електрод» та параметр $\beta_к$, що характеризує швидкість заряду.

Ємність системи «насіння-електрод» визначають за формулою

$$C = \frac{r_ч^2}{8l_3}, \quad (3)$$

де $r_ч$ – радіус частинки (за найбільшим розміром);

$l_3$ – відстань від площини до зерна (для не щільно прилягаючої частинки приймають $l_3$=0.01 см).

Параметр $\beta_к$ визначають з виразу

$$\beta_к = \pi\kappa\sigma_3 = \frac{2l}{hE_0}, \quad (4)$$

де $l$ – лінійна щільність струму коронного розряду;

$h$ – відстань між коронуючими провідниками та осадильним електродом.

Таким чином, користуючись експериментальними даними, можна визначити показник розрядки μ, на величину якого впливає сумарний перехідний опір $R_ч$.

**Висновки.** Наведено методику визначення перехідного опору і показника розрядження окремого насіння. На прикладі пшениці встановлено, що зі збільшенням напруги поля опір зерен зменшується, причому у більш вологих зерен швидше, ніж у менш вологих. Таким чином, визначення величин перехідного електричного опору різного насіння значно допоможе вплинути на процес електросепарації на барабанних електросепараторах.

**Список використаних джерел**

1. Электротехнология / *А. М. Басов* и др. Москва: Агропромиздат, 1985. 256 с.
2. *Басов А. М.* Электрокоронная сепарация зерна. *Вестник сельскохозяйственной науки.* 1962. № 1. С. 62-64
3. *Кулагин М. С., Соловьев В. М., Желтов В. С.* Механизация послеуборочной обработки и хранения зерна и семян. Москва: Колос, 1979. 256 с.
4. *Тарушкин В. И.* Новые электросепараторы семян. *Механизация и электрификация сельского хозяйства.* 1996. № 4. С. 32-33.
5. *Бородин И. Ф., Шмигель В. Н.* Электричество на очистке и сепарации семян. *Сельский механизатор*. 1997. № 10. С. 20-22.
6. Электрозерноочистительные машины: Теория, конструкции и расчет / А. М. Басов и др. Москва: Машиностроение, 1966. 203 с.
7. *Ермолаев С. А., Масюткин Е. П., Яковлев В. Ф.* Эксплуатация энергооборудования в сельском хозяйстве: учебник. Киев: Инкос, 2005. 670 с.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕХОДНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ И ПОКАЗАТЕЛЯ РАЗРЯДКИ ОТДЕЛЬНОГО ЗЕРНА

**Чебанов А. Б., Чебанова Ю. В.**

***Аннотация*** – работа посвящена вопросу разделения зерновой смеси по ее физико-механическим и электрическим свойствам. Приведена методика определения переходного сопротивления и показателя разряжения отдельного зерна, значения которых оказывают влияние при разделении зерновых смесей на барабанных электросепараторах. На примере пшеницы установлено, что с увеличением напряженности поля, сопротивление зерен уменьшается, причем в более влажных зернах быстрее, чем в менее влажных. Определение величин переходного сопротивления различных семян значительно поможет повлиять на процесс электросепарации на барабанных электросепараторах.

**Ключевые слова**: зерновая культура, электросепарация, барабанная машина, напряженность поля, критерий разделения, межэлектродное расстояние.

# DETERMINATION OF TRANSIENT RESISTANCE AND RATE OF DISCHARGE OF THE INDIVIDUAL GRAINS

**A. Chebanov, Yu. Chebanova**

***Summary***

The increase of the productivity and cost cutting in the process of production of grain-crops up to a point depend on quality of sowing material, and accordingly, and from the method of his cleaning and sorting. One of effective methods of division of grain mixtures there is an electro-separation. It is set that after the row of certain advantages, by the widespread type of electrical-separators drum, in that there is grain mixture, that acted on the surface of the rotary-type earthed electrode-drum gets a charge from a crowning electrode to the drum and under operating of forces of the field, forces of cooperation of the charged particle under flat of drum, centrifugal forces and attractive powers there is a division of mixture.

For that, to learn behavior of grains on a cylindrical electrode (drum) that runs around and their distribution in the field of native digit, it is necessary to know character of change of resistance of every separately taken seed in his natural state. In agricultural practice the bulk of seed clears up in a collective period - for this period characteristic considerable oscillation of humidity of environment that affects humidity of seed. In a period cleaning and sorting of sowing material there are considerable fluctuations in an ambient temperature. In this connection it is necessary to know how transitional resistance of seed changes with the change of his humidity and temperature.

Methodology over of determination of transitional resistance and index is in-process brought discharging of separate seed, the values of that have influence at dividing of grain mixtures into drum electrical separators. On the example of wheat, it is found that with increasing field strength, the resistance of grains decreases, and in wetter grains faster than in less wet ones. The determination of the values of the transition resistance of different seed will greatly help to influence the process of electroseparation on a drum electroseparation.

**Keywords**: grain culture, electroseparation, drum machine, field strength, separation criterion, electrode distance

**УДК 621.313.333.004.58** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-25**

# ВПЛИВ ВІДХИЛЕННЯ ЖИВЛЯЧОЇ НАПРУГИ НА РЕСУРС ІЗОЛЯЦІЇ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ ПОТОКОВИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЛІНІЙ

**Вовк О. Ю., к. т. н.,** https://orcid.org/0000-0003-0154-6972
**Квітка С. О., к. т. н.,** https://orcid.org/0000-0001-9234-9274
**Дідур В. А., д.т.н.** https://orcid.org/0000-0002-3491-0059
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua

***Анотація*** – у роботі розглянуто причини невисокої експлуатаційної надійності асинхронних електродвигунів приводу робочих машин потокових технологічних ліній і встановлено, що головними причинами є зовнішні впливи на електродвигуни, одним з яких є зниження напруги живлячої мережі.

У результаті вивчення описано механізм розвитку процесів пошкодження ізоляції асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії під дією зниженої напруги живлення та аналітично досліджено із застосуванням теплової двохелементої схеми заміщення електродвигуна та механічної характеристики електродвигуна і робочої машини теплові та електромеханічні процеси, які протікають в асинхронних електродвигунах потокової технологічної лінії під дією зниженої напруги живлення.

У результаті проведених досліджень отримано взаємозв'язок між швидкістю теплового зношення ізоляції асинхронного електродвигуна та показниками експлуатаційних впливів (коефіцієнтом зниження напруги на затискачах електродвигуна, коефіцієнтом завантаження електродвигуна, видом механічної характеристики робочої машини і температурою навколишнього середовища).

Розраховано залежності швидкості витрати ресурсу ізоляції асинхронного електродвигуна у функції коефіцієнта завантаження при різних значеннях коефіцієнта відхилення живлячої напруги і фіксовному значенні температури навколишнього середовища, а також швидкості витрати ресурсу ізоляції асинхронного електродвигуна у функції коефіцієнта завантаження при різних значеннях температури навколишнього середовища і фіксовному значенні коефіцієнта відхилення живлячої напруги. На базі проведених розрахунків сформульовано рекомендації щодо завантаження асинхронних електродвигунів робочих машин в залежності від рівня відхилення напруги живлення та значення температури навколишнього середовища.

***Ключові слова:*** робоча машина, механічна характеристика, асинхронний електродвигун, ізоляція обмотки, зниження напруги, навантаження, температура обмотки, швидкість витрати ресурсу.

**Постановка проблеми.** На сьогодні більше 50% електричної енергії, що виробляється у світі, споживається асинхронними електродвигунами [1]. Таке розповсюдження ці електродвигуни

© Вовк О. Ю., Квітка С. О., Дідур В. А.

отримали завдяки високій конструкційній надійності та порівняно незначній вартості виготовлення. В той же час експлуатаційна надійність асинхронних електродвигунів у всіх галузях промисловості невисока: щорічно виходять з ладу та ремонтуються близько 30% зазначених електродвигунів, час напрацювання на відмову становить 0,5…1,5 роки [2]. Головними причинами невисокої експлуатаційної надійності вказаних двигунів є зовнішні впливи на них як з боку живлячої мережі, так і з боку робочих машин. Одним з таких впливів є зниження напруги живлячої мережі на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів.

Відомо, що навіть незначні відхилення якості живлячої напруги призводять до негативних наслідків, пов'язаних зі старінням ізоляції і зниженням таких енергетичних показників роботи асинхронних двигунів як коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт потужності [3]. При відхиленні напруги в мережі від номінального значення активна потужність на валу асинхронного двигуна залишається практично постійною, а в ньому змінюються втрати активної потужності [4]. Це призводить до зміни нагріву асинхронного електродвигуна та, як наслідок, до зміни швидкості теплового зношення його ізоляційної конструкції.

**Аналіз останніх досліджень.** Існуючі методи аналізу впливу зниження напруги на затискачах асинхронного електродвигуна дозволяють визначати або тільки його енергетичні показники роботи, які опосередковано дозволяють робити висновок про стан ізоляції електродвигуна, або швидкість теплового зношення ізоляції без урахування завантаження електродвигуна під час зниження напруги. Крім того, вони не дозволяють в повній мірі враховувати завантаження асинхронного електродвигуна та вид механічної характеристики робочої машини, яку він приводить у рух [5 – 6].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Тому у роботі поставлено завдання: аналітично дослідити теплові та електромеханічні процеси, які протікають в асинхронних електродвигунах потокової технологічної лінії під дією зниженої напруги живлення.

**Основні матеріали дослідження (основна частина).** Через те, що асинхронні електродвигуни потокової технологічної лінії перебувають в процесі експлуатації під впливом зниження напруги на їх затискачах, то механізм розвитку процесу пошкодження їх ізоляції буде наступний. Зниження напруги на затискачах працюючих асинхронних електродвигунів призводе до збільшення їх ковзання і, як наслідок, до збільшення сил споживаних ними струмів та відповідно до перевантаження за струмом. Останнє, у свою чергу, викликає підвищення вібрації, збільшення електродинамічних зусиль

між провідниками обмотки, зниження опору виткової ізоляції, а також перегрівів виткової, корпусної ізоляції та осердя. Наслідком перегрівання ізоляції є її теплове зношення, яке призводить до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у пазових та лобових частинах. Ці дефекти обумовлюють спочатку незвершені пробої виткової ізоляції, а потім і повні виткові замикання, які, в свою чергу, викликають відмову електродвигунів.

При цьому слід враховувати зміну завантаження робочих машин, які приводять у рух асинхронні електродвигуни, а також зміну температури навколишнього середовища. Збільшення завантаження робочих машин призводить до збільшення сил споживаних електродвигунами струмів, до перевантаження асинхронних електродвигунів за струмом, до підвищення температури обмотки, до перегріву виткової ізоляції, до теплового зношення ізоляції, до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у лобових та пазових частинах, які призводять до незавершених пробоїв виткової ізоляції, а потім і до повних виткових замикань та відмови електродвигуна. Збільшення температури навколишнього середовища призводить до підвищення температури обмотки, до перегріву виткової ізоляції, до теплового зношення ізоляції, до виникнення спочатку локальних дефектів виткової ізоляції у лобових та пазових частинах, які призводять до незавершених пробоїв виткової ізоляції, а потім і до повних виткових замикань та відмови електродвигуна.

Таким чином, з урахуванням викладеного вище у подальших дослідженнях необхідно враховувати причинно-наслідковий зв’язок зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії, який наведений на рис. 1.

Головним проявом зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії є підвищення їх нагріву, яке призводить до збільшення теплового зношення ізоляції. Параметром, який характеризує теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна, є швидкість теплового зношення ізоляції, яка визначається за формулою [6]:

$$\varepsilon = \varepsilon_н \cdot e^{B\left(\frac{1}{\Theta_н}-\frac{1}{\Theta}\right)}, \qquad (1)$$

де $\varepsilon$ – швидкість теплового зношення ізоляції, баз.год./год.;

$\varepsilon_н$ – номінальна швидкість теплового зношення ізоляції, баз.год./год.;

$B$ – параметр, що характеризує клас ізоляції, К;

$\Theta_н$ – номінальна абсолютна усталена температура обмотки, К;

$\Theta$ – поточна абсолютна усталена температура обмотки, К.




Рис. 1. Причинно-наслідковий зв'язок зниження напруги на затискачах асинхронних електродвигунів потокової технологічної лінії

Отже швидкість теплового зношення ізоляції залежіть від номінальної швидкості теплового зношення ізоляції $\varepsilon_н$, параметру, що характеризує клас ізоляції, $B$, номінальної абсолютної усталеної температури обмотки $\Theta_н$, поточної абсолютної усталеної температури обмотки $\Theta$, тобто $\varepsilon = f(\varepsilon_н, B, \Theta_н, \Theta)$.

У свою чергу номінальна абсолютна усталена температура обмотки визначається за формулою

$$\Theta_н = \tau_{1н} + \vartheta_{сер.н} + 273, \qquad (2)$$

де $\tau_{1н}$ – номінальне усталене перевищення температури обмотки, °С;

$\vartheta_{сер.н}$ – номінальна температура навколишнього середовища, °С.

Відповідно поточна абсолютна усталена температура обмотки визначається за формулою

$$\Theta = \tau_{1y} + \vartheta_{сер} + 273, \quad (3)$$

де $\tau_{1y}$ – поточне усталене перевищення температури обмотки, °С;

$\vartheta_{сер}$ – поточна температура навколишнього середовища, °С.

З урахуванням викладеного швидкість теплового зношення ізоляції залежіть від номінальної швидкості теплового зношення ізоляції $\varepsilon_н$, параметру, що характеризує клас ізоляції, $B$, номінального усталеного перевищення температури обмотки $\tau_{1н}$, номінальної температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер.н}$, поточного усталеного перевищення температури обмотки $\tau_{1y}$, поточної температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер}$, тобто $\varepsilon = f(\varepsilon_н, B, \tau_{1н}, \vartheta_{сер.н}, \tau_{1y}, \vartheta_{сер})$. Значення $\varepsilon_н, B, \tau_{1н}, \vartheta_{сер.н}$ залежать тільки від конструкції асинхронного електродвигуна, значення $\vartheta_{сер}$ визначає вплив температури навколишнього середовища на швидкість теплового зношення ізоляції, а значення $\tau_{1y}$ визначає вплив режиму роботи на швидкість теплового зношення ізоляції, тобто відхилення напруги на затискачах електродвигуна та ступінь його завантаження.

З метою встановлення поточного усталеного перевищення температури обмотки асинхронного електродвигуна теплові процеси у електродвигуні розглянуто, користуючись двохелементною еквівалентною тепловою схемою [5]. На підставі цієї схеми складена система диференціальних рівнянь, з якої визначено:

$$\tau_{1y} = \tau_{1н} \frac{a + \kappa^2}{1 + a - \alpha \cdot \tau_{1н} \cdot \left(\kappa^2 - 1\right)}; \quad (4)$$

$$a = \frac{\Delta P_{с.н}}{\Delta P_{м.н}}. \quad (5)$$

Усталене перевищення температури обмотки $\tau_{1y}$ залежить від класу ізоляції обмотки, яка визначає її номінальне усталене перевищення температури $\tau_{1н}$, кратності струму електродвигуна $\kappa$, коефіцієнта втрат $a$ та матеріалу провідників обмотки, якому відповідає температурний коефіцієнт опору $\alpha$ - $\tau_{1y} = f(\tau_{1н}, \kappa, a, \alpha)$.

Таким чином, встановлена залежність між тепловим станом асинхронного електродвигуна і швидкістю теплового зношення його ізоляції, яка має вигляд: $\varepsilon = f(\varepsilon_н, B, \tau_{1н}, \vartheta_{сер.н}, \vartheta_{сер}, \kappa, a, \alpha)$. Значення $\varepsilon_н, B, \tau_{1н}, \vartheta_{сер.н}, a, \alpha$ залежать тільки від конструкції асинхронного

електродвигуна, а значення $\kappa$ і $\vartheta_{сер}$ залежать від умов експлуатації та можуть змінюватись протягом роботи електродвигуна.

З останніх двох показників тільки кратність струму електродвигуна може змінюватись від напруги, прикладеної до затискачів електродвигуна. Квадрат кратності струму в обмотці статора асинхронного електродвигуна, згідно його Г-подібної схеми заміщення [7], дорівнює

$$\kappa^2 = k_u \cdot \frac{\left(r_1' + r_2''/s_н\right)^2 + \left(x_1' + x_2''\right)^2}{\left(r_1' + r_2''/s\right)^2 + \left(x_1' + x_2''\right)^2}, \qquad (6)$$

де $r_1'$, $r_2''$, $x_1', x_2''$ – параметри Г-подібної схеми заміщення асинхронного електродвигуна, Ом;

$s$ – поточне ковзання електродвигуна;

$s_н$ – номінальне ковзання електродвигуна.

Як видно з (6) кратність струму обмотки статора електродвигуна залежить від його параметрів, номінального і поточного ковзання. З цих величин тільки поточне ковзання залежить від прикладеної напруги до затискачів електродвигуна.Виходячи зі сказаного вище, проаналізуємо вплив зниження напруги живлячої мережі на поточне ковзання електродвигуна з урахуванням його коефіцієнту завантаження та виду робочої машини, яку він приводить у рух.

Для встановлення математичних залежностей поточного ковзання асинхронного електродвигуна від коефіцієнту зниження напруги, коефіцієнту завантаження електродвигуна ти виду робочої машини скористаємось механічними характеристиками асинхронного електродвигуна та робочої машини, які наведено на рис. 2.

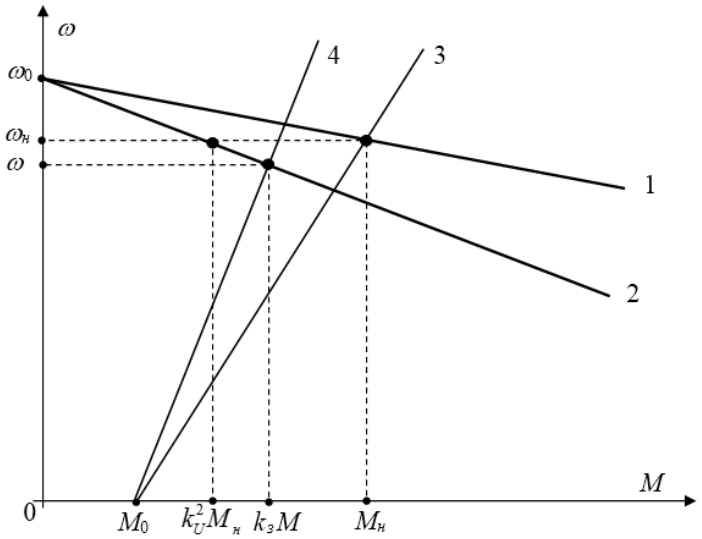



Рис. 2. Механічні характеристики асинхронного електродвигуна та робочої машини

На рис. 2 позначено:
1, 2 – робочі ділянки механічної характеристики асинхронного електродвигуна відповідно при номінальній та зниженій напрузі живлячої мережі;
3, 4 – механічні характеристики робочої машини відповідно при номінальному та зниженому навантаженні;
$\omega_0$, $\omega_н$, $\omega$ – відповідно синхронна, номінальна і поточна кутові швидкості асинхронного електродвигуна;
$M_0$ – початковий момент опору робочої машини;
$M_н$, $M$ – відповідно номінальний та поточний моменти на валу асинхронного електродвигуна;
$k_з$ – коефіцієнт завантаження асинхронного електродвигуна;
$k_U$ – коефіцієнт, який враховує зниження напруги живлячої мережі (відношення діючого значення поточної напруги до номінальної).

Використовуючи рис. 2 та признак подібності трикутників, можемо записати

$$\frac{\omega_0 - \omega_н}{\omega_0 - \omega} = \frac{k_з \cdot M}{k_U^2 \cdot M_н}. \quad (7)$$

Звідки знаходимо

$$M = \frac{\omega_0 - \omega_н}{\omega_0 - \omega} \cdot \frac{k_U^2}{k_з} \cdot M_н, \quad (8)$$

або

$$M = \frac{s}{s_н} \cdot \frac{k_U^2}{k_з} \cdot M_н. \quad (9)$$

Ковзання асинхронного електродвигуна визначає діюче значення сили струму в обмотці статора, від квадрата якого залежить кількість теплоти, що виділяється у цій обмотці при роботі електродвигуна. Тому дослідимо, як буде змінюватись ковзання двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини.

Для цього скористаємось емпіричним рівнянням механічної характеристики робочої машини [8]

$$M_{оп} = M_0 + \left(M_{оп.н} - M_0\right) \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^x, \quad (10)$$

де $M_{оп}$, $M_{оп.н}$ – відповідно поточне та номінальне значення моменту опору робочої машини, Н·м;

$x$ – показник ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості.

Підставимо (9) у (10) та перепишемо рівняння (10) в наступному вигляді

$$\frac{s}{s_н}\cdot\frac{k_U^2}{k_з}\cdot M_н = M_0 + \left(M_н - M_0\right)\cdot\left(\frac{1-s}{1-s_н}\right)^x. \qquad (11)$$

Розділимо (11) на $M_н$ та перепишемо у такому вигляді

$$\frac{s}{s_н}\cdot\frac{k_U^2}{k_з} = M_{0*} + \left(1 - M_{0*}\right)\cdot\left(\frac{1-s}{1-s_н}\right)^x, \qquad (12)$$

де $M_{0*}$ – відносне значення початкового моменту опору робочої машини;

$$M_{0*} = \frac{M_0}{M_н}. \qquad (13)$$

Використовуючи (13), знайдемо вирази ковзання двигуна в залежності від коефіцієнтів завантаження та зниження напруги з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини, тобто з урахуванням значення показника ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості.

Для робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою ($x = 0$) ця залежність буде наступною

$$s = \frac{k_з}{k_U^2}\cdot s_н. \qquad (14)$$

Для робочої машини з лінійно-зростаючою механічною характеристикою ($x = 1$) ця залежність буде наступною

$$s = \frac{M_{0*} + \dfrac{1-M_{0*}}{1-s_н}}{\dfrac{k_U^2}{k_з\cdot s_н} + \dfrac{1-M_{0*}}{1-s_н}}. \qquad (15)$$

Для робочої машини з нелінійно-зростаючою (параболічною) механічною характеристикою ($x = 2$) ця залежність буде наступною:

$$s = 1 + \frac{k_U^2}{k_з} \cdot \frac{(1 - s_н)^2}{2 \cdot s_н \cdot (1 - M_{0*})} -$$

$$- \sqrt{1 + \frac{k_U^2 \cdot (1 - s_н)^2 \left(k_U^2 \cdot (1 - s_н)^2 + k_з \cdot s_н \cdot (1 - M_{0*})\right)}{4 \cdot k_з^2 \cdot s_н^2 \cdot (1 - M_{0*})^2}} - \frac{1 - M_{0*} \cdot s_н}{1 - M_{0*}} . \quad (16)$$

Для робочої машини з нелінійно-спадаючою (гіперболічною) механічною характеристикою ($x = -1$) ця залежність буде наступною:

$$s = \frac{1}{2} \cdot \left(1 + \frac{k_з}{k_U^2} \cdot s_н \cdot M_{0*} - \sqrt{\left(1 - \frac{k_з}{k_U^2} \cdot s_н \cdot M_{0*}\right)^2 - 4 \cdot \frac{k_з}{k_U^2} \cdot (1 - M_{0*}) \cdot (1 - s_н)}\right). \quad (17)$$

Таким чином, встановлені залежності між поточним ковзанням асинхронного електродвигуна $s$ та експлуатаційними показниками (коефіцієнтом зниження напруги на затискачах $k_U$ і коефіцієнтом завантаження електродвигуна $k_з$) і конструкційними показниками (номінальним ковзанням двигуна $s_н$, показником ступеня, який характеризує зміну статичного моменту робочої машини при зміні швидкості $x$, і початковим моментом опору робочої машини $M_{0*}$). Тобто $s = f(k_U, k_з, s_н, x, M_{0*})$. При будь-якому виді робочої машини залежність ковзання від коефіцієнту зниження напруги має квадратичний характер, а від коефіцієнта завантаження – лінійний.

Отже проведені теоретичні дослідження дозволяють зробити висновок, що швидкість теплового зношення ізоляції є функцією конструкційних та експлуатаційних показників асинхронного електродвигуна та робочої машини. Конструкційні показники електродвигуна обумовлені як його загальною конструкцією, так і його ізоляційною конструкцією, а робочої машини – її видом; експлуатаційні показники носять режимний характер і враховують зниження напруги на затискачах, коефіцієнт завантаження та температуру навколишнього середовища. Тобто $\varepsilon = f(\varepsilon_н, B, \tau_{1н}, \vartheta_{сер.н}, r_1', r_2'', x_1', x_2'', a, \alpha, s_н, x, M_{0*}, k_U, k_з, \vartheta_{сер})$.

Використовуючи отримані залежності, чисельно дослідимо залежність швидкості теплового зносу ізоляції від експлуатаційних показників режимного характеру (коефіцієнту зниження напруги, коефіцієнту завантаження, температури навколишнього середовища) з урахуванням зазначених вище конструкційних показників двигуна і робочої машини для асинхронного електродвигуна типорозміру АИР132S4, який приводить у рух робочу машину з $x = 2$.

Згідно [5] для даного електродвигуна $\varepsilon_н$ = 1 баз.год./год., $B$ = 10200 К, $\tau_{1н}$ = 90 °С, $\vartheta_{сер.н}$ = 40 °С, $\alpha$ = 0,004 1/°С, $M_{0*}$ = 0,2. Значення параметрів Г-подібної схеми заміщення, номінальних ковзань і коефіцієнтів втрат наведено у [8].

Прийнято, що коефіцієнт завантаження досліджуваного асинхронного електродвигуна має наступні значення: 0; 0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1,0, коефіцієнт зниження напруги на його затискачах має такі значення: 1,0; 0,95; 0,9; 0,85, температура навколишнього середовища має наступні значення: 40°С; 25°С; 10°С, коефіцієнт, що характеризує механічну характеристику робочої машини, має значення: 0; 1; 2; –1.

Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_з)$ при різних коефіцієнтах відхилення живлячої напруги, фіксованій температурі навколишнього середовища і врахуванням того, що електродвигун приводить у рух робочу машину з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою, представлено на рис. 3.

Інші результати розрахунків $\varepsilon = f(k_з)$ даного електродвигуна при різних коефіцієнтах відхилення живлячої напруги та інших фіксованих значеннях температури навколишнього середовища і коефіцієнта ступеня, що характеризує робочу машину, мають подібний до рис.3 характер.

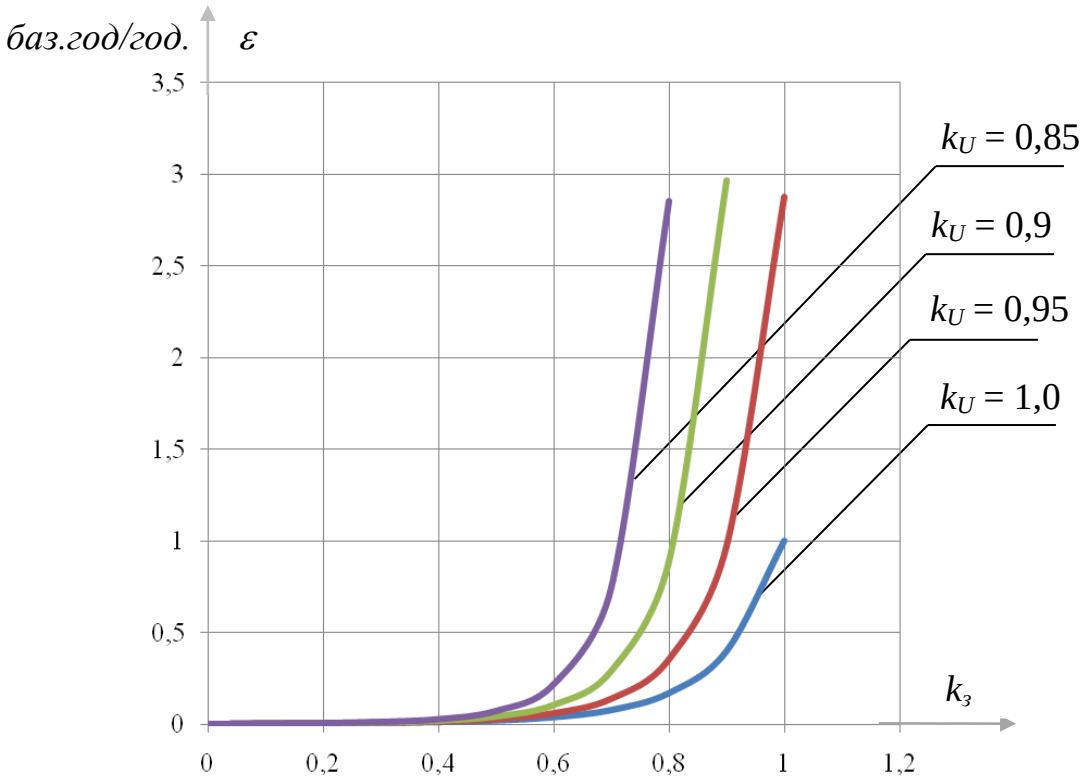



Рис. 3. Залежність $\varepsilon = f(k_з)$ при різних $k_U$, $\vartheta_{сер}$ = 40 °С і $x$ = 2 електродвигуна АИР132S4

Результати розрахунків $\varepsilon = f(k_з)$ електродвигуна АИР132S4 при різних температурах навколишнього середовища фіксованому коефіцієнті відхилення живлячої напруги і врахуванням того, що електродвигун приводить у рух робочу машину з нелінійно-зростаючою механічною характеристикою, представлено на рис. 4.

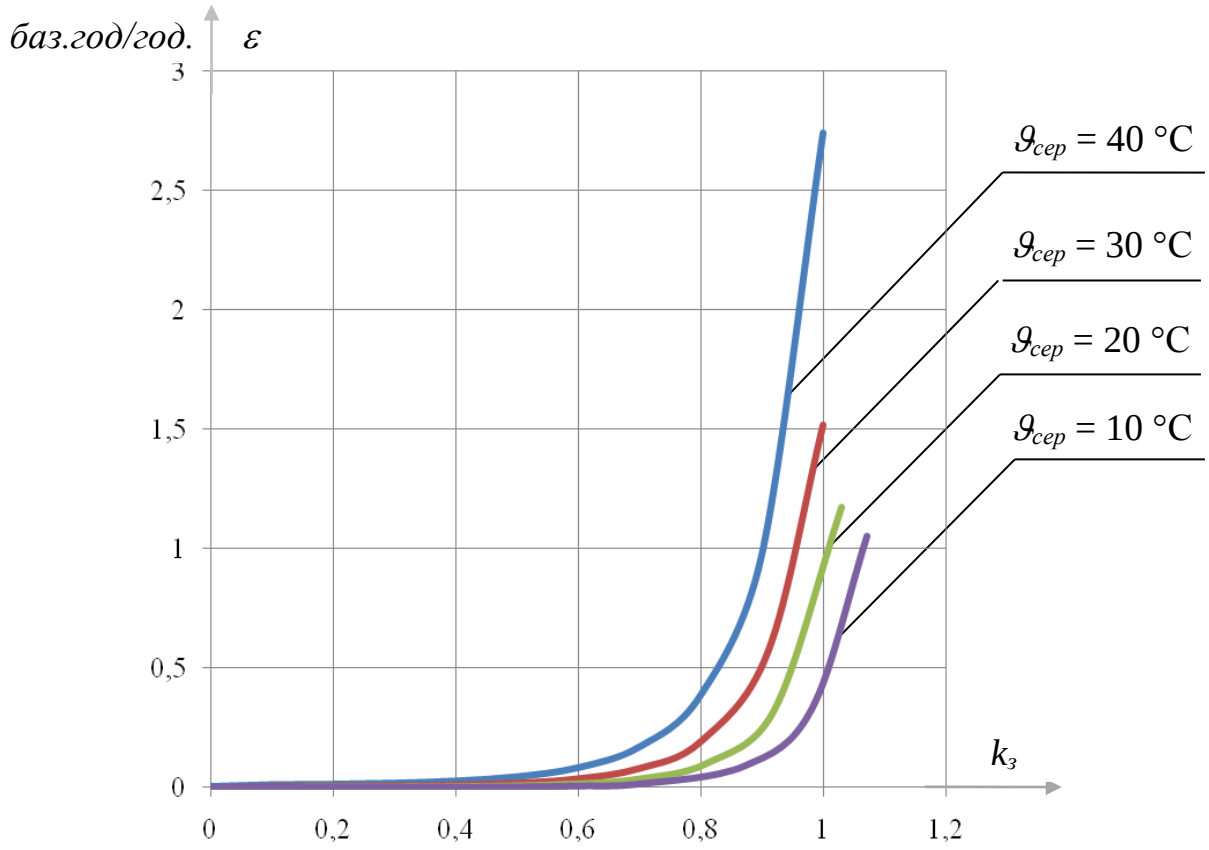



Рис. 4 Залежність $\varepsilon = f(k_з)$ при різних $\vartheta_{сер}$, $k_U = 0{,}95$ і $x = 2$ електродвигуна АИР132S4

Інші результати розрахунків $\varepsilon = f(k_з)$ даного електродвигуна при різних температурах навколишнього середовища та інших фіксованих значеннях коефіцієнта відхилення живлячої напруги і показника ступеня, що характеризує робочу машину, мають подібний до рис.4 характер.

**Висновки.**

1. Якщо напруга на затискачах асинхронного електродвигуна будь-якої робочої машини у робочому діапазоні завантаження знижується кожного разу на 5% за незмінної температури навколишнього середовища, то для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна необхідно знижувати його завантаження кожного разу на 10%.

2. Якщо температура навколишнього середовища асинхронного електродвигуна будь-якої робочої машини у робочому діапазоні

завантаження збільшується кожного разу на 10°С (або на 25%) за незмінної зниженої напруги на затискачах електродвигуна, то для збереження номінальної швидкості теплового зношення ізоляції електродвигуна необхідно знижувати його завантаження кожного разу на 5 %.

**Список використаних джерел**

1. *Пинчук О. Г.* Энергетические показатели асинхронного двигателя при различных параметрах питающего напряжения. *Електротехніка і енергетика*. 2008. Вип. 8(140). С. 201–204.

2. *Закладной А. Н., Закладной О. А.* Методы оценки срока службы асинхронных электродвигателей. *Енергетика та електрифікація*. 2004. № 4. С. 63–67.

3. *Кузнецов В. В, Николенко А. В.* О моделях функционирования асинхронного двигателя в условиях некачественной электроэнергии. *Восточноевропейский журнал передовых технологий*. 2015. № 1/8 (73). С. 37–42.

4. *Тонн Д. А.* Влияние локальных показателей качества электроэнергии на режимы работы конденсаторных асинхронных электроприводов. *Электротехнические комплексы и системы управления.* 2008. № 2. С. 31–34.

5. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.

6. *Овчаров С. В.* Ресурсоэнергосберегающие эксплуатационные режимы силового электрооборудования. Киев, 2012. 293 с.

7. Унифицированная серия асинхронных двигателей Интерэлектро / *В. И. Радин* и др.; под ред. В. И. Радина. Москва: Энергоатомиздат, 1990. 416 с.

8. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: підручник / *Є. Л. Жулай* та ін.; за ред. Є. Л. Жулая. Київ: Вища освіта, 2001. 288 с.

9. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / *А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская*. Москва: Энергоиздат, 1982. 504 с.

# ВЛИЯНИЕ ОТКЛОНЕНИЯ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ НА РЕСУРС ИЗОЛЯЦИИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОТОЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ

**Вовк А. Ю., Квитка С. А., Дидур В. А.**

***Аннотация*** – в работе рассмотрены причины невысокой эксплуатационной надёжности асинхронных электродвигателей привода рабочих машин поточных технологических линий и установлено, что главными причинами являются внешние воздействия на электродвигатели, одно из которых – снижение напряжения питающей сети.

В результате изысканий описан механизм развития процессов повреждения изоляции асинхронных электродвигателей поточной технологической линии под действием пониженного напряжения питания и аналитически исследованы с применением тепловой двухэлементой схемы замещения электродвигателя и механической характеристики электродвигателя и рабочей машины тепловые и электромеханические процессы, протекающие в асинхронных электродвигателях поточной технологической линии под действием пониженного напряжения питания.

В результате проведенных исследований получена взаимосвязь между скоростью теплового износа изоляции асинхронного электродвигателя и показателями эксплуатационных воздействий (коэффициентом снижения напряжения на зажимах электродвигателя, коэффициентом загрузки электродвигателя, видом механической характеристики рабочей машины и температурой окружающей среды).

Рассчитаны зависимости скорости расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в функции коэффициента загрузки при различных значениях коэффициента отклонения питающего напряжения и фиксированном значении температуры окружающей среды, а также скорости расхода ресурса изоляции асинхронного электродвигателя в функции коэффициента загрузки при различных значениях температуры окружающей среды и фиксованном значении коэффициента отклонения питающего напряжения. На базе проведенных расчетов сформулированы рекомендации по загрузке асинхронных электродвигателей рабочих машин в зависимости от уровня отклонения напряжения питания и значения температуры окружающей среды.

***Ключевые слова:*** рабочая машина, механическая характеристика, асинхронный электродвигатель, изоляция обмотки, снижение напряжения, нагрузка, температура обмотки, скорость расхода ресурса.

# INFLUENCE OF THE DEFLECTION OF FOOD VOLTAGE ON THE RESOURCE OF ISOLATION OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS OF FLOW TECHNOLOGICAL LINES

**O. Vovk, S. Kvitka, V. Didur**

***Summary***

In the work, the reasons for the low operational reliability of asynchronous electric motors for driving working machines of production process lines are considered and it is established that the main causes are external influences on electric motors, one of which is a decrease in the supply voltage.

As a result of the research, the mechanism of development of insulation damage processes of an asynchronous electric motor of a production technological line under the action of a reduced supply voltage is described and analytically investigated using a thermal two-element equivalent circuit of the electric motor and the mechanical characteristics of the electric motor and working machine thermal and electromechanical processes occurring in an asynchronous electric motor of a production technological line low voltage supply.

As a result of the research, the relationship between the thermal wear rate of the insulation of an asynchronous motor and the indicators of operating effects (the voltage reduction factor at the motor terminals, the load factor of the electric motor, the type of mechanical characteristics of the working machine and the ambient temperature) has been obtained.

The dependences of the flow rate of the insulation resource of an asynchronous motor as a function of the load factor are calculated for different values of the supply voltage deviation coefficient and a fixed value of the ambient temperature, as well as the flow rates of the insulation resource of the asynchronous motor as a function of the load factor for different values of the ambient temperature and the fixed value of the supply deviation voltage. On the basis of the calculations made, recommendations have been formulated for loading asynchronous electric motors of working machines depending on the level of deviation of the supply voltage and the value of the ambient temperature.

***Keywords:*** working machine, mechanical characteristic, asynchronous electric motor, winding insulation, voltage reduction, load, winding temperature, resource consumption rate.

**УДК 621.314.1** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-26**

# ВПЛИВ КОРЕГУВАЛЬНИХ ЗВОРОТНИХ ЗВ'ЯЗКІВ НА МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗІ СПОСТЕРІГАЧЕМ

**Стьопкін В. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-5727-8343**
**Ніколенко А. В., к. т .н.** **http://orcid.org/0000-0003-3808-4249**
*Національна металургійна академія України*
E-mail:vasilstopkin@gmail.com, Моб.:+380663943841

***Анотація*** – в даній роботі розроблена математична модель електропривода зі спостерігачем з метою вибору типу зворотного зв'язку при зміні коефіцієнту співвідношення моментів інерції двигуна та механізму для зменшення коливань швидкості. Спостерігач забезпечує оцінювання швидкості обертання на підставі інформації про напругу живлення та струм двигуна з урахуванням складання системи рівнянь змінних стану.

При проведенні досліджень в систему введена інформація про швидкість. В даній системі замість безпосереднього вимірювання швидкості виконавчого органу використовується спостерігач, який за допомогою виміряного струму якоря та швидкості виконавчого органу або за різницею швидкостей корегує завдання на швидкість. При дослідженнях впливу корегувальних зв'язків на коливальність швидкостей пружнього електропривода були визначені основні типи зворотніх зв'язків, які можна використовувати при різних співвідношеннях моментів інерції двигуна та механізму. Недоліками системи автоматичного керування з використанням коригувальних зв'язків є складності розрахунків параметрів ланок при налагодженні. Використання спостерігача стану було доцільним у всьому діапазоні зміни коефіцієнту співвідношенням моментів інерції.

Момент навантаження ідентифікується та описується системою диференційних рівнянь, які входять до загальної системи. Спостерігач відновлює вектор координат системи і вектор збурень. Якщо збурення носять випадковий характер, то його математичний опис невідомий. Точне відтворення координат у такому випадку здійснюється у сталому режимі. При зміні навантаження у перехідних режимах спостерігач буде відновлювати координати системи і момент навантаження з помилкою.При здійсненні корекції за різницею швидкостей наявна статична помилка при впливі моменту навантаження. Для компенсації статичної помилки сигнал моменту навантаження в статиці подається на вхід контуру швидкості через відповідну ланку.

Дана модель системи підпорядкованого регулювання координат зі спостерігачем швидкості та струму навантаження може бути використаною для пружних електроприводів.

***Ключові слова:*** спостерігач, пружний зв'язок, двигун постійного струму, тиристорний перетворювач, постійна часу, регулятор, корегувальна ланка.

© Стьопкін В. В., Ніколенко А. В.

**Постановка проблеми.** У металургійній промисловості використовуються багато електроприводів, які містять в механічній частині пружні елементи. При проведенні синтезу систем керування необхідно вирішувати задачу керування виконавчим механізмом, який пов’язаний з привідним пристроєм кінематичною передачею з пружним зв’язком. При дії періодичних збурень пружні елементи стають причиною виникнення коливань, що викликають значні додаткові динамічні навантаження на електричне та механічне обладнання та відхилення процесів від заданої технології. Динаміка коливального характеру не дозволяє використовувати електричне обладнання за перевантажувальною здатністю, значно скорочує строк служби вузлів та деталей механічної передачі за зносостійкістю та витривалістю [1]. З метою зменшення пружних механічних коливань здійснюють синтез електромеханічних систем (ЕМС) із реалізацією демпфуючої дії електропривода. Методики синтезу параметрів та структур ЕМС, що використовуються на практиці передбачають мінімізацію реакції електропривода на коливання механічної частини. В дійсності в ЕМС необхідно розглядати взаємодію коливань. У роботі [2], синтез параметрів системи автоматичного керування (САК) з мінімізацією реакції електропривода на коливання в механічній частині здійснюється без врахування взаємозв’язку параметрів електричної та механічної підсистем, що зумовлено умовами заданого конструкцією розподілення мас двигуна з механізмом. Робота присвячена питанням впливу корегувальних зворотних зв’язків на механічні коливання пружного електропривода із використанням спостерігаючого пристрою.

Використання спостерігачів є доцільним, де встановлення датчиків змінних стану електропривода ускладнено через умови експлуатації електропривода, наприклад при роботі механізмів у хімічно агресивних та радіоактивних середовищах, а також в умовах вібрації та значних ударних навантажень.

**Аналіз останніх досліджень.** Відомими є такі основні способи синтезу систем керування з пружними елементами в механічній частині електроприводу [3]: корегування коефіцієнту підсилення регулятора швидкості в системі підпорядкованого регулювання; використання зворотного зв’язку за похідними від швидкості виконавчого валу; використання зворотного зв’язку за різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу; створення модального регулятора; створення спостерігаючого пристрою; створення системи замкненої за вектором стану; використання паралельної корекції з непрямим вимірюванням швидкості виконавчого органу та

використанням гнучкого зворотного зв’язку на вхід регулятора струму. Результати практичного застосування перелічених способів синтезу, без спостерігаючого пристрою, розглянуті у роботі [4]. Основними недоліками систем з послідовно-паралельною корекцією є складність розрахунків параметрів корегувальних ланок та труднощі їх налагодження. В роботі [5] розглянута тримасова ЕМС, у якій пружні коливання були зменшені за рахунок використання зворотних зв’язків за різницею швидкостей рухомих мас.

Вплив механізму на роботу електропривода проявляється в його визначенні характеру моменту навантаження. При синтезу САК використовують ідеалізацію, засновану на представленні про жорсткий зв’язок двигуна з механізмом. Це пов’язано з тим, що частота власних пружних коливань механізму виявляється вищою за частоту, що визначає швидкодію САК [6]. При не спрацюванні вказаного припущення синтез системи може призвести до помилкових результатів. Можливі такі випадки, коли підвищення швидкодії ЕМС, що зумовлене застосуванням тиристорних або транзисторних перетворювачів і високоякісних елементів системи керування, іноді неможливе у наслідок суттєвого впливу пружності в механічній передачі на якість перехідних процесів електропривода.

У роботі [7] запропонований узагальнений метод синтезу ЕМС з пружними зв’язками при використанні демпфуючого впливу електропривода з врахуванням ефекту електромеханічного взаємозв’язку.

Розробкою, вивченням та вдосконаленням електроприводів зі спостерігачами стану займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені: Л. В. Акімов, В. І. Колотило, В. С. Марков, В. Б. Клепіков, Н. А. Задорожній, В. В. Панкратов, А. Б. Виноградов, І. Я. Браславський та ін.

Питання чутливості електропривода до зміни його внутрішніх параметрів, відновлення сигналів зворотних зв’язків за допомогою спостерігачів стану, покращення якості керування за рахунок збільшення інформації про координати об’єкта керування розглядалися авторами робіт [8-12].

**Формулювання цілей статті.** Ціллю роботи є розробка математичної моделі електропривода постійного струму зі спостерігачем стану з компенсуючими зворотними зв’язками для дослідження їх впливу на пружні механічні коливання.

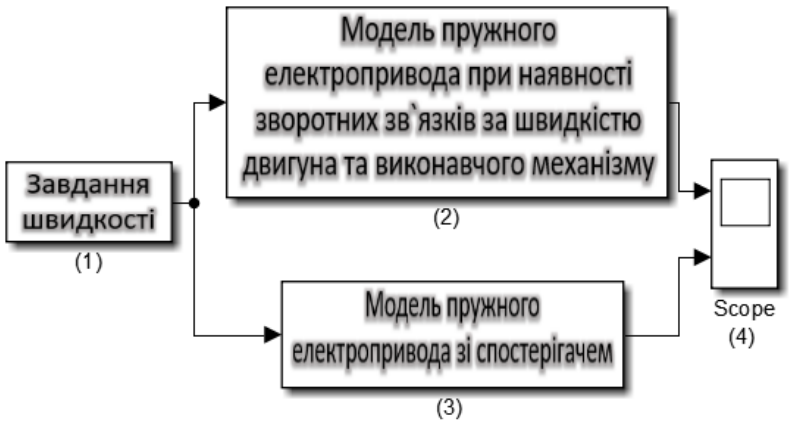
Розробка математичної моделі передбачає: розрахунок структурних параметрів регуляторів та корегуючих зворотних зв’язків електропривода; аналіз впливу пружного зв’язку на контур струму та

швидкості; налагодження контуру швидкості електропривода зі спостерігачем із урахуванням пружного зв'язку.

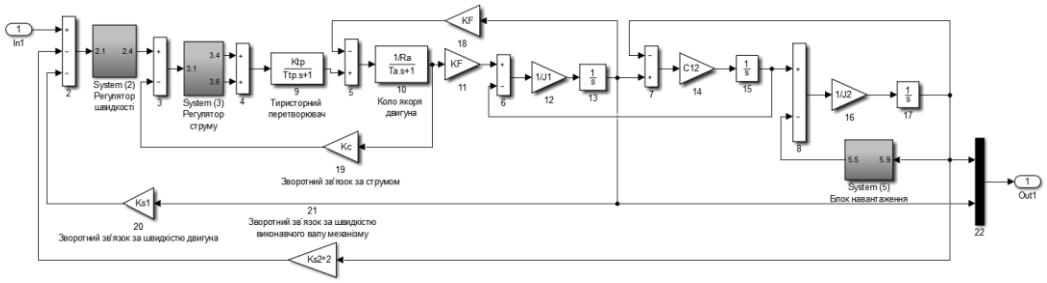
**Основні матеріали дослідження.** Математична модель електропривода складається з двигуна постійного струму з тиристорним перетворювачем (ТП) у колі якоря. Двигун має наступні паспортні параметри: номінальна напруга $U_н = 220\,В$; номінальний струм $I_н = 101\,А$; номінальна частота обертів $n_н = 600\,об/хв$; опір кола якоря $R_я = 0,235\,Ом$; момент інерції $J_{дв} = 0,57\,кгм^2$. Тиристорний перетворювач має сталу часу $T_{тп} = 0,005\,с$. Перевантажувальна здатність двигуна $\lambda = 2$. Співвідношення моментів інерції двигуна та механізму при дослідженні змінювалось у діапазоні $g = 1,5 \div 15$. Частота незатухаючих коливань системи $\Omega_0 = 30\,рад/с$. Бажане співвідношення моментів інерції $g_0 = 5,8$. Реактивний момент навантаження $M_г = 0,15 \cdot M_н$, та випадковий активний $M_{st} = 0,4 \cdot M_н$. Регулятор струму – пропорційно-інтегральний (ПІ). Регулятор швидкості – пропорційний (П). ЕРС некомпенсована. Режим роботи змодельований наступним чином – розгін до швидкості $0,9 \cdot \omega_н$, накид навантаження через 2с після початку руху та гальмування до швидкості $0,5 \cdot \omega_н$ через 3,5 с після початку руху.

Математична модель має наступні припущення:моменти та зусилля в системі прикладені до зосереджених мас, що не зазнають деформації; пружні зв'язки невагомі та характеризуються сталим жорстким зв'язком; деформація пружних ланок лінійна; хвильовий рух деформації відсутній.

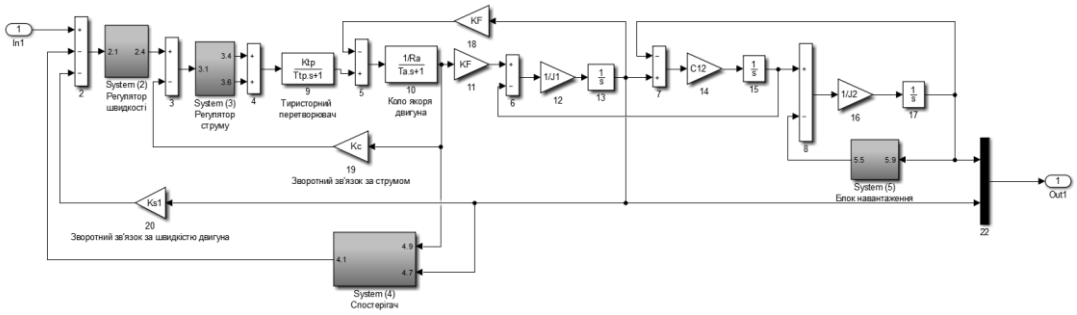
На рис. 1. наведена модель пружного електропривода при використанні зворотних зв'язків за швидкістю двигуна та виконавчого органу без спостерігача (рис.1, б) та при використанні спостерігача струму та швидкості виконачвого органу (рис.1, в). Налагодження спостерігача полягає в тому, щоб, практично не змінюючи характеру перехідного процесу за завданням, послабити вплив пружних коливань на роботу САК.



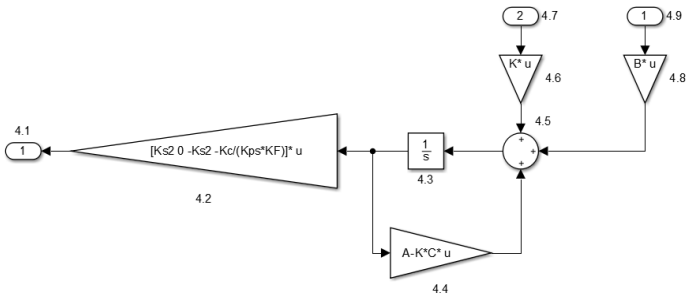

а)




б)




в)




г)

Рис. 1. Модель пружного електропривода: а) загальна модель електропривода; б) модель електропривода без використання спостерігаючого пристрою; в) модель електропривода з спостерігаючим пристроем; г) модель спостерігаючого пристрою.

Модель електропривода зібрана в пакеті бібліотек Simulink стандартними блоками: 1,3 – блоки завдання на швидкість $u_{zs1}$, $u_{zs2}$; 2, 27 – блок відліку часу; 5, 8, 12, 14, 20, 23, 30 – блоки-суматори; 4, 29 –

блоки логічних перемикачів, що визначають темп розгону привода; 6 – блок П-регулятора швидкості; 7 – блок обмеження на струм; 9-11 – блоки ПІ-регулятора струму; 13 – блок передатної функції ТП; 15 – блок передатної функції двигуна; 16, 19 – блоки конструктивної постійної двигуна KF; 17, 24 – блоки завдання моментів інерції J1 таJ2; 26, 31 – блоки завдання активного $M_{st}$ та реактивного $M_r$ моментів; 21 – блок завдання коефіцієнту жорсткості C12; 33 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за струмом $K_c$; 34 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за швидкістю двигуна $K_{s1}$; 35 – блок коефіцієнта зворотного зв'язку за різницею швидкостей $K_{s2}$; 37 – осцилограф.

При зміні співвідношення моментів інерції двигуна та механізму у діапазоні $g = 1{,}5 \div 15$ налагодження САК без врахування спостерігаючого пристрою виконувалося наступним чином. Для значень $g = 3 \div 10$ регулятор швидкості (РШ) розраховувався за формулою:

$$K_{рш} = \frac{K_c \cdot (J_1 + J_2)}{g^{3/4} \cdot T_{тп} \cdot K_{ш1} \cdot KF}, \quad (1)$$

при умові:

$$T_{\mu\omega} \le \frac{T_п}{2 \cdot \sqrt[4]{g}}, \quad (2)$$

де $T_{\mu\omega}$ – мала стала часу контуру швидкості;

$K_{ш1} = 10 / \omega_н$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю двигуна $\omega_н$;

$K_c = 10 / I_н \cdot \lambda$ – коефіцієнт зворотного зв'язку за струмом $I_н$ при перевантажувальній здатності $\lambda$.

$KF = (U_н - I_н \cdot R_я) / \omega_н$ – конструктивний коефіцієнт двигуна в усталеному режимі;

$T_п = \sqrt{(J_1 \cdot J_2) / C_{12}(J_1 + J_2)}$ – стала часу пружних коливань;

$C_{12} = \Omega_0 \cdot (J_1 \cdot J_2) / (J_1 + J_2)$ – коефіцієнт жорсткості.

При невиконанні умови (2) здійснювалося переналагодження контуру швидкості шляхом зменшення $K_{рш}$. Додатковий зворотний зв'язок за похідною струму якоря не дав результатів.

Для значень $g = 1 \div 3$ використовувався додатковий зворотний зв'язок за похідною швидкості виконавчого органу при виконанні умови:

$$T_{\mu\omega} = (0{,}2 \div 0{,}3) \cdot T_п. \quad (3)$$

Якщо умова (3) не виконується, як варіант використовується зворотний зв'язок за другою похідною швидкості виконавчого органу та та різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу.

При значеннях $g > 10$ використовувався зворотний зв'язок за похідною швидкості двигуна. Регулятор швидкості мав передаточну функцію:

$$W_{рш} = K_{рш} \cdot \frac{\tau_{рш} p + 1}{\tau_{рш2} p + 1}, \quad (4)$$

де $\tau_{рш} = 0{,}5 \cdot g^{3/4} \cdot T_п$, $\tau_{рш2} = T_п$ – сталі часу регулятора швидкості $(\tau_{рш2} > \tau_{рш})$.

В даній моделі електропривода (рис.1, в) поряд із використанням корегувальних зв'язків (рис.1, б) запропонований спостерігач стану при вхідних координатах – струм та швидкість виконавчого органу.

Рівняння стану для об'єкту керування мають вигляд:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = (I_н \cdot KF - x_2)\frac{1}{J_1}; \\ \dot{x}_2 = (x_1 - x_3) \cdot C_{12}; \\ \dot{x}_3 = (x_2 - x_4)\frac{1}{J_2}; \\ \dot{x}_4 = 0, \end{cases} \text{ або } \begin{cases} \dot{\omega}_1 = (I_a \cdot KF - M_п)\frac{1}{J_1}; \\ \dot{M}_п = (\omega_{(1)} - x_{(2)}) \cdot C_{12}; \\ \dot{\omega}_2 = (M_п - M_c)\frac{1}{J_2}; \\ \dot{M}_c = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Параметри спостерігача визначаються з матрично-векторної форми запису:

$$\left.\begin{aligned} \dot{x} &= A \cdot x(t) + B \cdot I_a(t); \\ \omega_1(t) &= C \cdot x(t), \end{aligned}\right\}, \quad (6)$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 & 0 \\ C_{12} & 0 & -C_{12} & 0 \\ 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & -\frac{1}{J_2} \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} \frac{KF}{J_1} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}; \quad C = [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0], \quad K = \begin{bmatrix} k_{11} \\ k_{21} \\ k_{31} \\ k_{41} \end{bmatrix}.$$

Визначимо матрицю, визначник якої є характеристичним рівнянням замкненої системи спостерігача (рис.1, г):

$$pI-(A-K\cdot C)=\begin{bmatrix} p & 0 & 0 & 0\\ 0 & p & 0 & 0\\ 0 & 0 & p & 0\\ 0 & 0 & 0 & p \end{bmatrix}-\begin{bmatrix} 0 & -\frac{1}{J_1} & 0 & 0\\ C_{12} & 0 & -C_{12} & 0\\ 0 & \frac{1}{J_2} & 0 & -\frac{1}{J_2}\\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}+\begin{bmatrix} k_{11}\\ k_{21}\\ k_{31}\\ k_{41} \end{bmatrix}\cdot\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\end{bmatrix}=$$

$$=\begin{bmatrix} p+k_{11} & \frac{1}{J_1} & 0 & 0\\ k_{21}-C_{12} & p & C_{12} & 0\\ k_{31} & -\frac{1}{J_2} & p & \frac{1}{J_2}\\ k_{41} & 0 & 0 & p \end{bmatrix}.$$

$$\det pI-(A-K\cdot C)=$$

$$=p^4+p^3\cdot k_{11}+p^2\cdot\frac{C_{12}}{J_2}+p^2\cdot\frac{C_{12}}{J_1}-p^2\cdot\frac{k_{21}}{J_1}+p\cdot\frac{k_{11}C_{12}}{J_2}+p\cdot\frac{k_{31}C_{12}}{J_1}-p\cdot\frac{k_{41}C_{12}}{J_1\cdot J_2}.$$

Визначимо невідомі коефіцієнти матриці спостерігача:

$$\left.\begin{aligned} &k_{11}=b_3;\\ &k_{21}=C_{12}\frac{J_1}{J_2}+C_{12}-J_1\cdot b_2;\\ &k_{31}=b_1\frac{J_1}{C_{12}}-b_3\frac{J_1}{J_2};\\ &k_{41}=-\frac{b_0\cdot J_1\cdot J_2}{C_{12}}. \end{aligned}\right\}$$

$$K=\begin{bmatrix} b_3\\ C_{12}\frac{J_1}{J_2}+C_{12}-J_1\cdot b_2\\ b_1\frac{J_1}{C_{12}}-b_3\frac{J_1}{J_2}\\ -\frac{b_0\cdot J_1\cdot J_2}{C_{12}} \end{bmatrix}$$

$$D=\begin{bmatrix} K_{ш2} & 0 & -K_{ш2} & -\frac{K_c}{K_{рш}\cdot K\Phi} \end{bmatrix}.$$

Порівняльні графіки перехідних процесів за швидкістю (1), (2) без використання спостерігаючого пристрою та з ним, наведені на рис. 2. Коливальність за швидкістю та час перехідного процесу при

використанні спостерігача є значно нижчими.

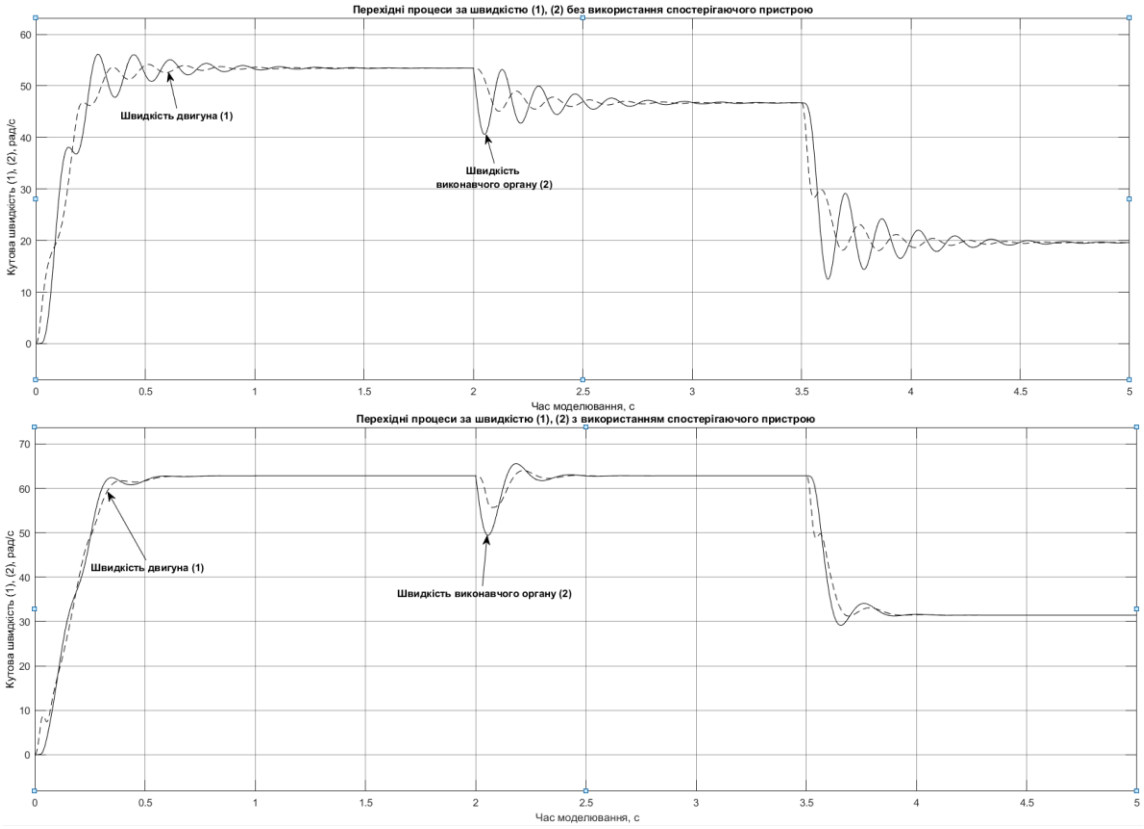



Рис. 2. Порівняльні графіки перехідних процесів за швидкістю (1), (2) без використання спостерігаючого пристрою та з ним

В таблиці 1 наведені результати розрахунків максимального значення швидкостей (1), (2) та часу перехідного процесу. Моделювання здійснювалося за структурною схемою на рисунку 1 при таких способах корегування (СК): 1 – за похідною швидкості виконавчого органу; 2 – за другою похідною швидкості виконавчого органу; 3 – за різницею швидкостей двигуна та виконавчого органу; 4 – за похідною швидкості двигуна; 5 – за похідною струму двигуна; 6 – при використанні спостерігаючого пристрою з оцінкою струму двигуна та швидкості виконавчого органу.

**Висновок.** Враховуючи проведені дослідження впливу корегувальних зв’язків на коливальність швидкостей пружного електропривода були визначені основні типи зворотних зв’язків, які можна використовувати при різних співвідношеннях моментів інерції двигуна та механізму. Недоліками САК з використанням коригувальних зв’язків є складності розрахунків параметрів ланок при налагодженні. Використання спостерігача стану було доцільним у всьому діапазоні зміни $g = 1{,}5 \div 15$.

Таблиця 1

**Результати розрахунків максимального значення швидкостей (1), (2) та часу перехідного процесу**

| Режим роботи | Співвідношення моментів інерції | Швидкість двигуна (1), виконавчого органу (2) та час перехідного процесу | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Пуск електропривода до номінальної швидкості під номінальним реактивним навантаженням | g | а | $\omega_{1max}$, рад / с | | | | | |
| | | б | $\omega_{2max}$, рад / с | | | | | |
| | | в | $t_p$, с | | | | | |
| | | СК | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| | 15 | а | 60,5 | 61,3 | 57,1 | 59,4 | 58,5 | 59,4 |
| | | б | 58,3 | 58,4 | 59,8 | 63,2 | 63,8 | 61,3 |
| | | в | 3,1 | 3,1 | 3,5 | 2,9 | 3,8 | 2,7 |
| | 10 | а | 59,6 | 58,3 | 62,5 | 59,4 | 57,5 | 58,6 |
| | | б | 58,1 | 61,4 | 59,6 | 61,5 | 62,1 | 60,5 |
| | | в | 2,5 | 2,1 | 1,9 | 2,3 | 2,5 | 1,7 |
| | 7 | а | 63,1 | 57,3 | 59,8 | 61,2 | 58,4 | 59,5 |
| | | б | 59,8 | 59,4 | 62,8 | 58,4 | 59,7 | 59,3 |
| | | в | 1,8 | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 1,35 |
| | 5,8 | а | 59,6 | 60,2 | 59,4 | 63,4 | 59,4 | 61,4 |
| | | б | 62,9 | 58,3 | 57,2 | 60,2 | 62,3 | 60,8 |
| | | в | 1,6 | 1,4 | 1,7 | 1,5 | 1,4 | 1,3 |
| | 3 | а | 58,4 | 63,2 | 62,1 | 64,1 | 62,3 | 59,8 |
| | | б | 59,8 | 59,8 | 60,4 | 59,8 | 57,4 | 61,3 |
| | | в | 1,1 | 0,8 | 0,8 | 1,2 | 0,8 | 0,7 |
| | 2 | а | 62,3 | 59,8 | 61,4 | 63,2 | 60,2 | 59,4 |
| | | б | 58,4 | 57,2 | 57,1 | 59,4 | 58,9 | 57,2 |
| | | в | 0,6 | 0,8 | 0,6 | 0,6 | 0,5 | 0,4 |
| | 1,5 | а | 62,1 | 59,2 | 57,3 | 62,3 | 61,8 | 60,2 |
| | | б | 58,8 | 57,3 | 59,6 | 58,4 | 59,4 | 59,8 |
| | | в | 1,5 | 1,4 | 1,6 | 1,2 | 1,4 | 0,6 |
| | 1,05 | а | 62,8 | 58,6 | 60,9 | 61,2 | 60,4 | 62,3 |
| | | б | 59,6 | 59,4 | 62,4 | 59,3 | 58,3 | 62,9 |
| | | в | 1,5 | 1,8 | 1,1 | 1,6 | 2,3 | 0,75 |

Примітка: СК – спосіб корегування; $t_p$ – час перехідного процесу

**Список використаних джерел**

1. *Задорожняя И. Н., Задорожний Н. А., Тарасов А. Ф.* Оценка влияния механического демпфирования на динамику электропривода

с упругими связями. *Вестник национального технического университета "ХПИ".* 2005. № 45. С. 176–180.

2. *Зворыкин В. Б., Станчиц Г. Ю.* Коррекция САР скорости при наличии упругой связи двигателя с механизмом и малых коэффициентах соотношения инерционных масс. *Адаптивні системи автоматичного управління.* 2013. № 1. С. 73–78.

3. *Вишнеревский В. Т., Овсянников К. В., Леневский Г. С.* Анализ способов построения замкнутых систем управления электроприводами, содержащими упругие элементы в механической подсистеме. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2012. № 2. С. 119-125.

4. *Кольцов С. В., Концевенко О. В., Овсянников К. В.* Последовательно-параллельная коррекция систем управления электроприводами с подчиненным регулированием параметров и упругими связями. *Вестник Белорусско-Российского университета*. 2010. № 3. С. 113-118.

5. *Божко В. И., Бажутин Д. В.* Подавление упругих колебаний в трехмассовых электромеханических системах путем введения корректирующих обратных связей по разностям скоростей движущихся масс. *Инновационные перспективы Донбасса*: материалы Междунар. науч.-практ. конференции (г. Донецк, 20-22 мая 2015 г.). Донецк, 2015. Т. 2. С. 28-33.

6. *Башарин А. В., Новиков В. А., Соколовский Г. Г.* Управление электроприводами. Ленинград: Энергоиздат, 1982. 392 с.

7. *Довгань С. М.* Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання. Дніпропетровськ: НГА України, 2001. 137 с.

8. *Акимов Л. В., Колотило В. И., Марков В. С.* Динамика двухмассовых систем с нетрадиционными регуляторами скорости и наблюдателями состояния. Харьков, 2000. 93 с.

9. *Колотило В. И., Марков В. С.* Разработка принципиальной схемы наблюдателя пониженного порядка для тиристорных электроприводов с упругой кинематикой. *Вестник Харьковского государственного политехнического университета.* 2000. № 79. С. 68-70.

10. Система подчиненного регулирования скорости с наблюдателем динамического и статического токов первого порядка / П. Х. Коцегуб и др. *Проблемы создания новых машин и технологий*. 2001. С. 103-109.

11. *Стьопкін В. В., Селівьорстова Т. В., Дереза В. О.* Дослідження впливу корегувальних зворотних зв’язків на механічні

коливання електропривода засобами Matlab. *Актуальні проблеми автоматизації та управління:* матеріали VI Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених та студентів. Луцьк, 2018. С. 86-91.

12. *Стьопкін В. В., Кажан В. Є., Березін О. О.* Моделювання спостерігаючого пристрою для електропривода механізму скіпового підйомника. *Системні технології*. 2019. № 2. С. 119-125.

## ВЛИЯНИЕ КОРРЕКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА С НАБЛЮДАТЕЛЕМ

**Степкин В. В., Николенко А. В.**

***Аннотация*** **–** в данной работе разработана математическая модель электропривода с наблюдателем с целью выбора типа обратной связи при изменении коэффициента соотношения моментов инерции двигателя и механизма для уменьшения колебаний скорости.

Наблюдатель обеспечивает оценку скорости вращения на основании информации про напряжение питания и ток двигателя с учетом составления системы уравнений переменных состояния.

При проведении исследований в систему введена информация про скорость. В данной системе вместо непосредственного измерения скорости исполнительного органа используется наблюдатель, который с помощью измеренного тока якоря и скорости исполнительного органа или по разнице скоростей корректирует задание на скорость. При исследованиях влияния корректирующих связей на колебательность скоростей упругого электропривода были определены основные типы обратных связей, которые можно использовать при разных соотношениях моментов инерции двигателя и механизма. Недостатками системы автоматического управления с использованием корректирующих связей являются сложности расчетов параметров звеньев при настройке. Использование наблюдателя состояния было целесообразным во всем диапазоне изменения коэффициента соотношения моментов инерции.

Момент нагрузки идентифицируется и описывается системой дифференциальных уравнений, которые входят в общую систему. Наблюдатель восстанавливает вектор координат системы и вектор возмущений. Если возмущения носят случайный характер, то их описание неизвестно. Точное восстановление координат в таком случае осуществляется в установившемся режиме. При изменении нагрузки в переходных режимах наблюдатель будет восстанавливать координаты системы и момент нагрузки с ошибкой. При осуществлении коррекции по разности скоростей будет статическая ошибка при влиянии момента нагрузки. Для компенсации статической ошибки сигнал момента нагрузки в статике подается на вход контура скорости через соответствующее звено.

Данная модель системы подчиненного регулирования координат с наблюдателем скорости и тока нагрузки может быть использована для упругих электроприводов.

***Ключевые слова:*** наблюдатель, упругая связь, двигатель постоянного тока, тиристорный преобразователь, постоянная времени, регулятор, корректирующее звено.

# INFLUENCE OF CORRECTIVE LINKS ON THE MECHANICAL VIBRATIONS OF THE ELECTRIC DRIVE WITH THE OBSERVER

**V. Stepkin, A. Nikolenko**

**Summary**

In this work, a mathematical model of an electric drive with an observer in order to select the type of feedback when changing the ratio of the moments of inertia of the engine and the mechanism to reduce speed fluctuations.

The observer provides an estimate of the rotational speed based on information about the supply voltage and the motor current, taking into account the compilation of the system of equations of state variables.

When conducting research, information about speed was entered into the system. In this system, instead of directly measuring the speed of the actuator, an observer is used, which with the help of the measured armature current and the speed of the actuator, or according to the speed difference, corrects the speed reference. In studies of the effect of corrective connections on the oscillatory velocity of the elastic electric drive, the main types of feedbacks were determined, which can be used for different ratios of the moments of inertia of the engine and mechanism. The disadvantages of the automatic control system using corrective connections are the difficulty of calculating the parameters of the links when tuning. The use of the state observer was expedient in the whole range of variation of the ratio of inertia moments.

The moment of load is identified and described by a system of differential equations that are part of the overall system. The observer reconstructs the system coordinate vector and the perturbation vector. If the disturbances are random, their description is unknown. Exact restoration of coordinates in this case is carried out in steady state. When the load changes in transient conditions, the observer will restore the system coordinates and the load moment with an error. In the implementation of the correction for the speed difference will be a static error when the effect of the load moment. To compensate for the static error, the signal of the moment of load in static is fed to the input of the velocity circuit through the appropriate link.

This model of a subordinate coordinate system with an observer of speed and load current can be used for elastic electric drives.

**Keywords:** observer, elastic coupling, DC motor, thyristor converter, time constant, regulator, corrective link.

**УДК 681.787** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-27**

# ДАТЧИК ЗНОСУ ЩІТОК КОЛЕКТОРНИХ ДВИГУНІВ ЗМІННОГО СТРУМУ НА БАЗІ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ІНТЕРФЕРОМЕТРУ

**Лобода О. І.[1], к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0003-1532-3366**
**Тодоріко О. М.[2], інженер,**
**Череватенко Л. М.[2], інженер**
*[1]Таврійський державний агротехнологічний університет*
*[2]ВСП "Новокаховський коледж Таврійського державного агротехнологічного університету"*
**e-mail: aleks_lo@i.ua**

***Анотація*** – в даній статті розглянуті потенційні можливості використання елементів волоконної оптики в вимірювальній техніці. Розглянуто теоретичні основи побудови волоконно - оптичних датчиків на основі брегівських решіток. Визначені явища зі зміни спектра відгуку випромінювання - спектрального затемнення і перехресного спотворення. Розглянуто два варіанти брегівських решіток: з гаусовим профілем відображення і з фазним $\pi$ - зрушенням. З'ясовано, що модуляція спектру пропускання для цих варіантів різні. Також визначено, що необхідно використовувати два оптичних волокна.

Розроблено схему установки і кріплення армованого оптичного волокна в тіло щітки колекторної електричної машини з урахуванням її конструктивних особливостей: місце кріплення утримуючого пристрою, виведення струмоведучих провідників. В ході проведення лабораторних досліджень з'ясовано, що незважаючи на позитивні якості кварцового оптичного волокна по передачі лазерного випромінювання, на колекторі електричної машини залишаються сліди від кварцового скла при стирання щіток. Тому запропоновано використовувати в якості оптичної серцевини полістирол або полікарбонат, хоча оптичні показники у них нижче.

**Ключові слова**: брегівська решітка, датчик, лазерне випромінювання, модель, модуляція, оптичне волокно, спектр, фаза.

**Постановка проблеми.** Ресурс роботи електричної машини з колекторним вузлом визначається ресурсом систем ковзаючого електричного контакту. Існують різні пояснення процесів, що протікають в зоні змінного електричного контакту, засновані на експериментах [1, 2]. Це пов'язано з тим, що процеси механічного тертя і зносу являють собою складну сукупність явищ, в яких беруть участь пружні і пластичні деформації, сили міжчастикового зчеплення, що виникають на контактних ділянках зв'язаних поверхонь, структурні

© Лобода О. І., Тодоріко О. М., Череватенко Л. М.

зміни, термоелектричні і електрохімічні процеси, різного роду процеси сорбції.

**Аналіз останніх досліджень.** Існують різні способи виміру зносу щіток колекторних електричних машин різноманітної потужності і величини. Самий розповсюджений спосіб це коли електромонтер визначає знос щітки по її довжині, але для цього потрібно вийняти саму щітку. Також існують способи по використанню електричних датчиків: замикання контактів при зносі до визначеної довжини, визначення сили притиску щіток. Ще існують способи виміру температури щіток в процесі роботи контактним, або безконтактним способом з використанням терморезисторів або термопар. В останній час використовують в якості датчиків зносу щіток елементи волоконної оптики, а саме оптичне волокно через яке проходить випромінювання (видиме, інфрачервоне, лазерне) або аналіз відбитого від кінця волоконо-оптичного елементу випромінювання.

**Формулювання цілей статті.** Метою даної роботи є розробка теоретичного підґрунтя для створення приладів діагностування щіток колекторних електричних машин на основі волоконнооптичних брегівських решіток.

**Основні матеріали дослідження.** Зміна спектру відгуку масиву волоконно-оптичної брегівської решітки (БР) викликано різними видами перехресних спотворень [3]. Це і "спектральне затінення" $I_r(\lambda)$, що описує явище спотворення спектру відбиття БР (рис. 1), що стоять на ближньому кінці $БР_1$ і $БР_2$), викликане змінами, які вносяться втратами відбитого випромінювання від брегівських решіток на дальньому кінці ($БР_{n-1}$ і $БР_n$), а також, перехресне спотворення $C_r(\lambda)$, викликана множинністю відгуків, пов'язаних з великим числом БР.

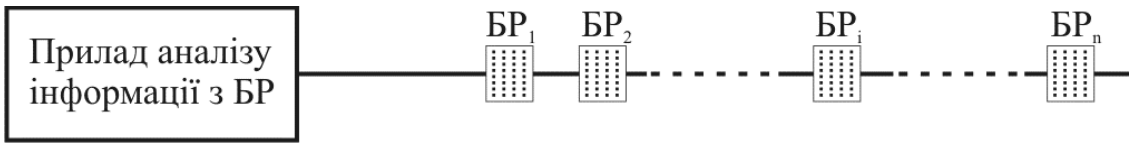



Рис. 1. Структурна схема зосередження однакових брегівської решітки

Результуючий спектр відбиття від і-ої БР є сумою $I_r(\lambda)$ і $C_r(\lambda)$ (1), тому аналітично, таке явище опішиться у вигляді профілю спектру відображення:

$$R_{FBG-ARi}(\lambda, N) = I_r(\lambda) + C_r(\lambda) \quad (1)$$

де N – кількість решіток;

$I_r(\lambda)$ - "спектральне затінення", $I_r(\lambda) = [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2(N-1)} R_{FBG}(\lambda)$

$C_r(\lambda)$ - перехресне спотворення.

$$C_r(\lambda) = \frac{(N-1)(N-2)}{2} R_{FBG}(\lambda)^3 [1 - R_{FBG}(\lambda)]^{2N-4}$$

Результуючий спектр відображення масиву брегівських решіток є сумою відбитого від N БР випромінювання, а для моделювання були обрані БР з гаусовим профілем відображення з кількість решіток N = 4. Вихідний профіль спектру відображення масиву представлений на рис. 2. В якості джерела випромінювання використовувалося лазерне випромінювання з довжиною хвилі 1500 нм, тому що затухання, коефіцієнт поглинання, а також витрати енергії значно менші ніж на довжинах хвиль – 810 нм, 940 нм, 980 нм, 1064 нм і 1320 нм. [6]

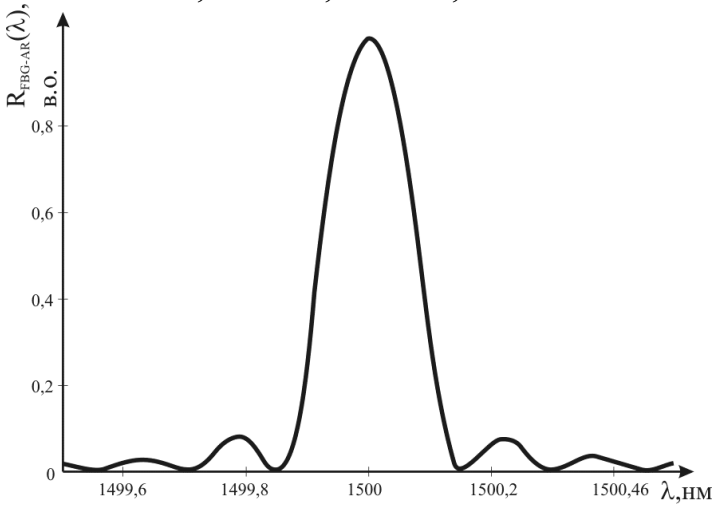
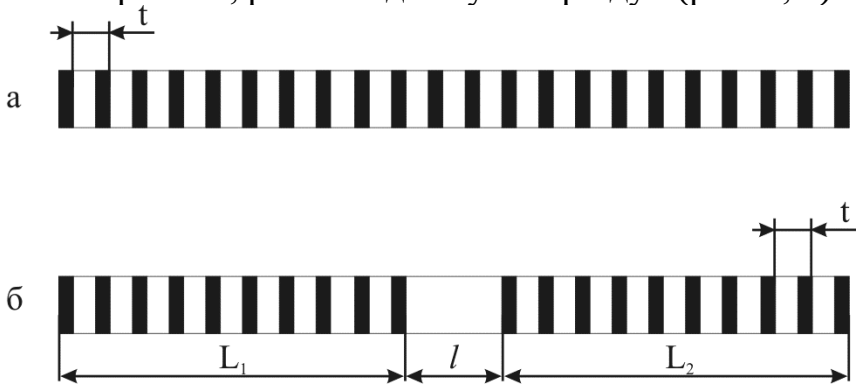



Рис. 2. Вихідний профіль спектру відображення масиву БР при N=4

Волоконні брегівськи решітки з фазовим зрушенням привертають дедалі більшу увагу розробників волоконно-оптичних датчиків [3,4], оскільки можуть бути виготовлені за допомогою фазових масок з мінімальними вимогами, що пред'являються до параметрів модуляції коефіцієнта заломлення і рівномірності характеристик його профілю [3,5].

Волоконна бреггівська решітка з фазовим π - зрушенням це дві послідовно розташовані БР довжиною $L_1$ і $L_2$, з ділянкою довжиною *l*, яка не зайнята гратами, рівним одному її періоду t (рис. 3, б).




а - звичайна БР з гаусовим профілем відображення;
б – БР з фазовим π - зрушенням

Рис. 3. Приклади брегівських решіток

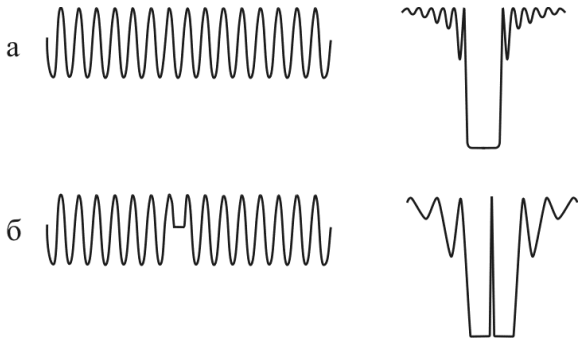
Модуляція коефіцієнту показника переломлення таких ґрат запишеться у вигляді [6]:

$$n(x) = \begin{cases} n_0 + \Delta n cos\left(\frac{2nx}{t} + \frac{\Delta\varphi}{2}\right), & x < 0 \\ n_0 + \Delta n cos\left(\frac{2nx}{t} - \frac{\Delta\varphi}{2}\right), & x \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

де $\Delta\varphi = \pi$ - значення величини фазового зсуву БР;

x = 0 - ділянка БР, де відбувається перескок фази модуляції коефіцієнту показника переломлення, зазвичай це середина БР.

Графічно, така модуляція (в порівнянні із звичайним БР с гаусовим профілем відображення, у якого $\Delta\varphi = 0$) представлена на рис. 4.




а – БР звичайна ($\Delta\varphi = 0$); б - БР з фазовим $\pi$ -зсувом ($\Delta\varphi = \pi$)

Рис. 4. Модуляція коефіцієнту показника переломлення і отримані спектри пропускання

Таке порушення регулярності структури БР приводе до формування в спектрі пропускання $T(\lambda)$ вузької (декілька десятків МГц) смуги відображення (рис. 3).

В реальній моделі датчику зносу щіток краще розміщати два оптичних волокна, друге волокно з набором брегівських решіток є резервним на випадок обриву основного волокна.

Зазначена схема зручна для досліджень своєю простотою, однак в ній складно реалізувати конструкцію захищеного введення оптичного волокна в тіло щітки, що ускладнює її використання в промисловому зразку. Для досвідченого зразку щітки з БР запропонована така конструкція (рис. 4).

У тілі щітки 7, що торкається колектору електричної машини 8, зроблено отвір 3 на деяку глибину, достатню для вклейки армованого оптичного волокна 4, але меншу за рівень граничного зносу (діаметр отвору в місці вклейки арматури оптичного волокна становить 3,5 мм, а оптичного волокна - 0,7 мм). Клейовий склад 2 підбирається таким чином, щоб забезпечити високу адгезію як до матеріалу щітки, так і до матеріалу арматури оптичного волокна і самого оптичного волокна 1. Положення отвору підбирається таким чином, щоб воно було видалено

від майданчика для притискнуючого елемента щіткоутримувача 5 і віднесено щодо області закладення струмоведучого провіднику 6. Похибка виміру буде залежати від не осьового розташування волокна.

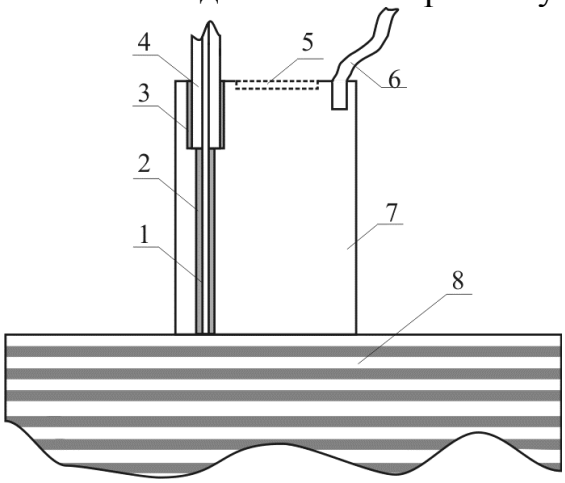



Рис. 4. Схематичне зображення щітки на колекторі електричної машини з розташованим волоконо-оптичним датчиком

Армовані оптичні кабелі відносяться до категорії оптичних кабелі спеціального призначення і широко поширені на ринку телекомунікаційного обладнання. Вони застосовуються в жорстких умовах експлуатації, де велика ймовірність підвищених механічних навантажень або атак гризунів. Ці шнури виготовлені зі спеціального армованого оптичного кабелю з двома гнучкими захисними оболонками з нержавіючої сталі. Оптичне волокно діаметром 0,6 мм додатково захищене шаром кевларових волокон. Оболонка кабелю виготовлена з безгалогенного низькодимного матеріалу, що не поширює горіння.

Для проклеювання армованого волоконо-оптичного шнура краще використовувати двокомпонентний епоксидний клей M-BOND 610 (Large kit 4x25g) фірми Vishay Precision Group, який має високу плинність і адгезію до різного роду пластиків (ПВХ, АБС та інші), скла і вуглецевих матеріалів (вуглепластикам, електротехнічного графіту та інші) як з використанням спеціалізованих добавок, так і без них. Має високу стійкість до високих температур і впливу навколишнього середовища.

Для проведення експериментів в якості оптичного волокна застосовувалося стандартне телекомунікаційне одномодове кварцове волокно SMF-LS фірми Corning з типом волокна NZDSF. Але кварцове скло при стиранні щіток на ламелях колектору залишає свій слід, що згубно впливає на якість колектору. Для того щоб позбутися такого явища пропонується використовувати оптичне волокно з полістиролу, або з полікарбонату.

В ході зносу щіток з волоконо-оптичним датчиком з брегівською решіткою відбувається зміщення ділянки з фазовим зрушенням від центру решітки ($L_1 = L_2$) до її краю ($L_1 < L_2$) рис. 3. В цьому випадку відбувається зміна глибини провалу в профілі спектру відбиття при зміщенні ділянки до краю $q = (L_1 / (L_1 + L_2) = 0{,}25$ глибина провалля зменшується в порівнянні з положенням близьким до центрального ($q = 0{,}4$). А це дає можливість визначити знос щіток колекторних електричних машин

**Висновки.**

1. Розглянуто принцип побудови волоконно-оптичного датчика зносу щіток колекторних машин на основі брегівських решіток.

2. Обґрунтована конструкція модифікації щіток колекторних машин для впровадження в них елементів волоконно-оптичних елементів на основі брегівських решіток.

**Список використаних джерел.**

1. Мейер Р. К. К вопросу о работе скользящего контакта. / Р. К. Мейер - ЦБТИ НИИЭП. М., 1960. – 374 с.

2. Хольм Р. Электрические контакты. / Р. Хольм М.: Издательство иностранной литературы. 1961. - 464 с

3. Окоси Т. Волоконно – оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу, Х Нисихара, К. Кюма, К Хататэ; под ред. Т. Окоси: пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990. – 256 с.

4. Удда Э. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников. / Э. Удда. М.: Техносфера, 2008. – 520 с.

5. Красюк Б. А. Светодиодные датчики / Б. А. Красюк, О.Г. Семенов, А. Г. Шереметьев и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.

6. Либенсон М. Н. Взаимодействие лазерного излучения с веществом (силовая оптика). Часть I. Поглощение лазерного излучения в веществе. / М. Н. Либенсон, Е. Б. Яковлев, Г. Д. Шандыбина. Под общей редакцией В. П. Вейко – СПб: СПб ГУ ИТМО, 2008. – 141 с.

## ДАТЧИК ИЗНОСА ЩЕТОК КОЛЛЕКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА БАЗЕ ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКОГО ИНТЕРФЕРОМЕТРА

**Лобода А. И., Тодорико А. М., Череватенко Л. М.**

***Аннотация*** – в данной статье рассмотрены потенциальные возможности использования элементов волоконной оптики в измерительной технике. Рассмотрены теоретические основы построения волоконно – оптических датчиков на основе броговских решеток. Определены явления по изменению спектра отклика излучения – спектрального затемнения и перекрестного искажения. Рассмотрены

два варианта береговских решеток: с гаусовым профилем отражения и с фазным π - сдвигом. Выяснено, что модуляция спектр пропускания для этих вариантов различные. Также определено, что необходимо использовать два оптических волокна.

Разработана схема установки и крепления армированного оптического волокна в тело щетки коллекторной электрической машины с учетом ее конструктивных особенностей: место крепления удерживающего устройства, вывода токоведущих проводников. В ходе проведения лабораторных исследований выяснено, что несмотря на положительные качества кварцевого оптического волокна по передачи лазерного излучения, на коллекторе электрической машины остаются следы от кварцевого стекла при стирании щеток. Поэтому предложено использовать в качестве оптической сердцевины полистирол или поликарбонат, хотя оптические показатели у них ниже.

***Ключевые слова*:** береговская решетка, датчик, лазерное излучение, модель, модуляция, оптическое волокно, спектр, фаза.

## ENGINE BRUSH WEAR SENSOR COLLECTOR MOTORS AC VOLTAGE BASED ON FIBER-OPTICAL INTERFEROMETER

**O. Loboda, O. Todoriko, L. Cherevateko**

### Summary

In this article the problems connected with the life of brushes of collector electric machines are considered, as well as methods of remote determination of their deterioration without the implementation of disassembly and maintenance. The analysis of existing methods of measuring the wear of brushes of collector electric machines of various power and magnitude is carried out. The main existing methods are observation, when the electrician removes the brush and measures its dimensions, but there are such methods as contact - in case of critical wear, the contacts of the conductors located in the body of the brush, or the change in the pressures of the brush holder, or the change in temperature, which is determined by contact or non-contact method. As a way out of this problem, it is suggested to use the potential opportunities of using fiber optic elements in measuring technology. The theoretical bases of construction of fiber - optic sensors on the basis of the Bregovian lattices are considered. The phenomena of change in the spectrum of the radiation response are determined - spectral eclipse and cross-distortion. Two variants of the Bregian lattices are considered: with a Gaussian mapping profile and with a phase - shift. It was found that the modulation of the spectrum for these variants is different. It is also determined that it is necessary to use two optical fibers.

The scheme of installation and mounting of reinforced optical fiber into the body of the brush of a collector electric machine is developed, taking into account its design features: the mounting point of the retaining device, the output of current conducting conductors. In the course of laboratory studies it was found that despite the positive qualities of quartz optical fiber in the transfer of laser radiation, on the collector of the electric machine are traces of quartz glass when erasing brushes. Therefore, it is suggested to use polystyrene or polycarbonate as an optical core, although their optical characteristics are lower.

***Keywords:*** Bregovian lattice, sensor, laser radiation, model, modulation, optical fiber, spectrum, phase.

**УДК 621.337:631.672** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-28**

# ДИНАМІКА АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА З НЕЧІТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ

**Білюк І. С., к. т. н.,**
**Бугрім Л. І., к. т. н.,**
**Гаврилов С. О., к. т. н.,**
**Кириченко О. С., к. т. н.,**
**Фоменко А. М., к. т. н.,**
**Шарейко Д. Ю., к. т. н.**
*Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,*
*e-mail: sergey.gavrilov81@gmail.com*

***Анотація*** – у роботі досліджено перехідні процеси в асинхронному електроприводі насосного агрегату з ПІД-подібним нечітким регулятором. Виконано порівняльний аналіз якості керування в системі з класичним та нечітким регуляторами. Обґрунтовано застосування нечіткого регулятора в асинхронному електроприводі насосного агрегату системи водопостачання та доведено, що використання нечіткої логіки призводить до підвищення якості перехідного процесу системи. Моделювання проведено за допомогою пакету прикладних математичних програм Scilab.

***Ключові слова:*** нечітка логіка, регулятор, асинхронний електропривод, мережевий насос, моделювання, перехідна характеристика.

**Постановка проблеми.** Одним з основних завдань керування насосними агрегатами систем водопостачання та водовідведення є стабілізація статичного напору в системі. Необхідність стабілізації напору в цих системах обумовлена змінним характером режиму водоспоживання, що вимагає безперервних змін в режимі роботи насосних агрегатів. Крім того, при побудові керування електропривода систем водопостачання нерідко виникає проблема неточного або неповного опису об'єкта керування, що не дає можливості здійснити коректне налаштування класичних ПІД-регуляторів напору і забезпечити задану якість регулювання, ускладнює керування, обмежує швидкодію, вимагає застосування модифікованих алгоритмів керування.

© Білюк І. С., Бугрім Л. І., Гаврилов С. О., Кириченко О. С., Фоменко А. М., Шарейко Д. Ю.

У зв'язку із вищевикладеним, інтерес становить дослідження керування асинхронного електропривода систем водопостачання з використанням алгоритмів нечіткої логіки, які останнім часом набувають поширення серед інтелектуальних технологій формування адаптивних алгоритмів регулювання та керування в області електропривода.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У вітчизняних та зарубіжних літературних джерелах, які присвячені питанням дослідження режимів роботи електроприводів систем водопостачання, в більшості випадків розглядаються окремо регульований електропривод насоса або безпосередньо мережевий насос. В обох випадках спрощується процес дослідження, але не враховуються координати насоса чи відсутня прив'язка до керованого електропривода. Тенденцією останнього часу є розгляд системи електропривода і насоса як єдиного технологічного агрегату [1-3].

Як показують дослідження, сьогодні існує потреба у створенні адаптивних алгоритмів керування електропривода насосних агрегатів для підтримки стабільного напору в системі водопостачання [4]. Тому в регульованому електроприводі систем водопостачання почали активно впроваджуватися методи і технічні засоби, засновані на нечіткій логіці [5, 6]. Показники якості перехідних процесів з використанням нечітких регуляторів не поступаються показникам якості відповідних класичних регуляторів, а в деяких випадках і перевищують їх [7-9].

Проте на сьогодні відсутні відомості щодо дослідження використання нечітких регуляторів в асинхронному електроприводі мережевих насосів з урахуванням робочих параметрів насоса, таких як витрата, напір та момент статичного опору.

**Постановка завдання.** Метою роботи є дослідження динаміки асинхронного електропривода мережевого насоса з ПІД-подібним нечітким регулятором. Для досягнення поставленої мети в роботі потрібно розв’язати наступні завдання: побудувати модель асинхронного електропривода мережевого насоса та виконати синтез ПІД-подібного нечіткого регулятора; провести моделювання системи керування електропривода з ПІД-подібним нечітким регулятором в Scilab; виконати порівняльний аналіз роботи асинхронного електропривода мережевого насоса з класичним і нечітким регуляторами.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Імовірнісний характер водоспоживання вимагає безперервних змін в режимі роботи насосних агрегатів систем водопостачання. Зміни повинні бути

здійснені таким чином, щоб підтримувалися необхідні значення технологічних параметрів (витрати, напору) в системі в цілому і одночасно забезпечувалося мінімально можливе енергоспоживання насосної установки. Це завдання вирішується системою автоматичного регулювання, яка стабілізує напір в мережі по заданому значенню. Стабілізувати напір у всіх точках складної розгалуженої мережі практично неможливо. Тому зазвичай йдеться про стабілізацію напору в окремих точках мережі, які звуть диктувальними (рисунок 1) [10]. Сигнали від датчика тиску, встановленого в диктувальній точці мережі, і від задавального пристрою надходять до регулятора напору, де вони порівнюються між собою, відповідним чином обробляються і потім передаються в систему керування електропривода насосного агрегату.

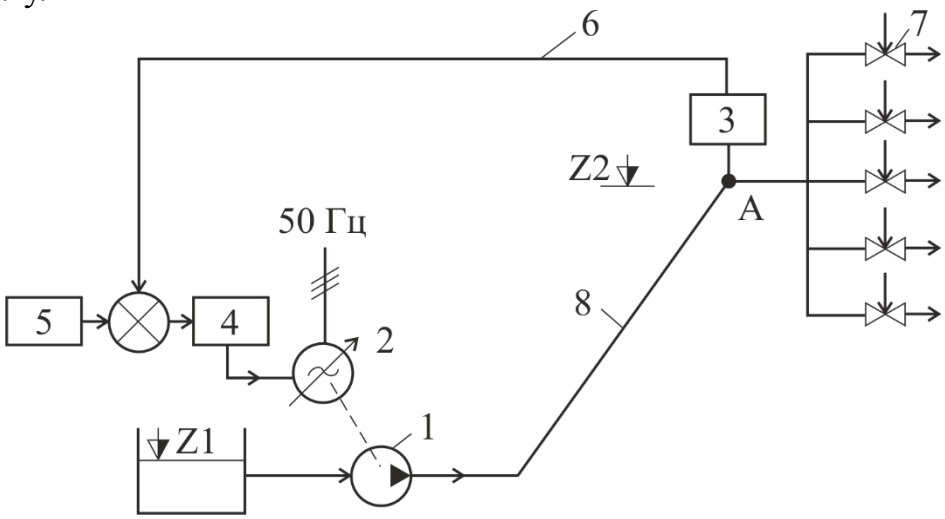



Рис. 1. Принципова схема стабілізації напору в диктувальній точці А:
1 – відцентровий насос; 2 – регульований електропривод;
3 – датчик тиску; 4 – регулятор напору; 5 – задавальний пристрій;
6 – канал зв’язку; 7 – водорозподільні пристрої; 8 – водовід.

З енергетичної точки зору найбільш ефективним способом узгодження режимів подачі насосних агрегатів і споживання рідини є регулювання частоти обертання робочих коліс. Частота обертання може бути змінена різними способами, однак, для побудови систем автоматичного керування насосними установками найбільш зручним і ефективним є використання регульованого електропривода [1].

В якості об'єкта керування в роботі розглянуто насосну станцію 3 NKVE 15/8 T, яку призначено для підвищення тиску води цивільного, сільськогосподарського та промислового призначення. Насосна станція компонується 3 вертикальними багатоступінчастими

відцентровими насосами типу NKVE 15, кожен з яких укомплектовано асинхронним електродвигуном MDEMA XX 132-2 2.

Для проведення досліджень було побудовано імітаційну модель системи в програмі Xcos пакету прикладних математичних програм Scilab [11, 12]. Модель складається зі стандартних блоків палітри інструментів Xcos та додаткового модуля sciFLT Toolbox [13]. Всі параметри моделі системи стабілізації напору розраховано для обраного об'єкту керування за методиками, які наведено в роботах [1, 14]. Однак дана модель може бути використана для будь-якого насосного агрегату при зміні вихідних даних.

В моделі насосного агрегату умовно можна виділити електромеханічну (рис. 2) та механічну частини. До електромеханічної частини відносять регульований електропривод, а до механічної – мережевий насос [1].

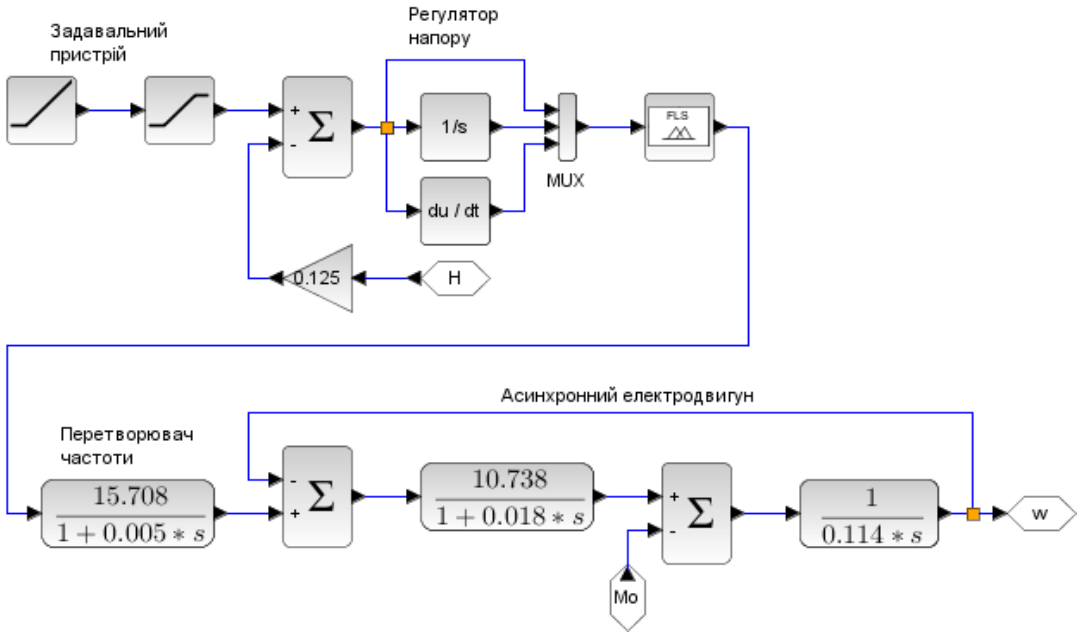



Рис. 2. Модель електромеханічної частини насосного агрегату

До складу електромеханічної частини моделі входять: задавальний пристрій (блоки Ramp та Saturation); суматор сигналів завдання за напором та зворотнього зв'язку за напором H (блок Summation); ПІД-подібний нечіткий регулятор напору (Integral_f, Deriv, Mux та блок системи нечіткого виведення scicos_fls); перетворювач частоти, який реалізовано аперіодичною ланкою Clr; асинхронний електродвигун представлено в спрощеному вигляді, як аперіодична ланка другого порядку (Summation, блок моменту на аперіодичній ланці першого порядку Clr, суматор електромагнітного моменту двигуна та моменту статичного опору Mo, створюваного

насосом, блок швидкості двигуна на ланці Clr). Вихідна координата електропривода – кутова швидкість w.

В даній роботі нечітку логіку в ПІД-регуляторі напору використано для організації автоматичного підстроювання коефіцієнтів класичного ПІД-регулятора. Такий підхід виявляється більш зручним у зв'язку з простотою використання, ніж адаптивне керування або застосування ускладнених регуляторів стану.

Коефіцієнти пропорційної (kP), інтегральної (kI) та диференціальної (kD) складових класичного регулятора напору попередньо розраховано за умови налаштування контуру стабілізації напору на технічний оптимум.

Систему нечіткого виведення (блок scicos_fls, рис. 2) виконано за типом Mamdani з трьома вхідними та одним вихідним параметрами (рис. 3). Три вхідні параметри (Inputs): для пропорційної (kP), інтегральної (kI) та диференціальної (kD) складових регулятора напору. Вихідний параметр (Outputs) являє собою сигнал керування (y).

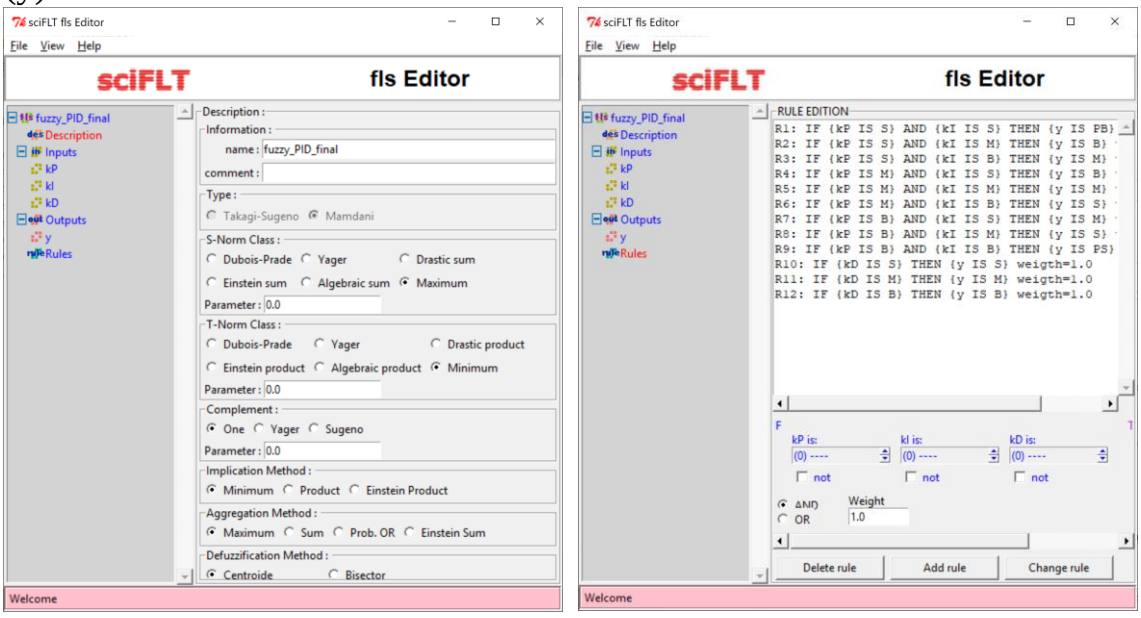



Рис. 3. Опис системи та редактор правил нечіткого виведення в sciFLT

Процедура обробки вхідної інформації в нечіткому регуляторі може бути описана наступним чином: поточні значення вхідних змінних kP, kI та kD перетворюються в лінгвістичні значення (фазифікація); на підставі отриманих лінгвістичних значень і з використанням бази правил (Rules) здійснюється нечітке логічне виведення, в результаті якого обчислюються лінгвістичні значення вихідної змінної y; дефазифікація.

Для реалізації процедур фазифікації і дефазифікації задаються функції приналежності для кожного вхідного та вихідного параметрів. Визначення функції приналежності – найбільш трудомісткий процес, який визначає якість процесу керування системою. Так, для складання найбільш адекватної моделі, потрібно не тільки знання характеру поведінки системи в цілому, а й певне число експериментів, що дозволяють визначити недоліки нечіткої моделі і усунути їх. Функції приналежності для всіх термів вибираються трикутної форми. Застосування інших форм в такій системі досить слабко впливає на результат.

Для побудови моделі насоса в програмі Xcos складено схеми, які реалізують функціональні залежності робочих параметрів мережевого насоса: $Q=f(\omega)$, $H=f(\omega)$ та $M_o=f(\omega)$.

В роботі [1] наведено залежності для обчислення витрати, напору та статичного моменту насоса. Так залежність витрати насоса від його кутової швидкості $Q=f(\omega)$ має вигляд

$$Q = Q_н \cdot \sqrt{\frac{H_ф \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^2 - H_c}{H_ф - H_c}}, \qquad (1)$$

де $Q_н$, $\omega_н$ – номінальні витрата та кутова швидкість насоса; $H_ф$ – фіктивне значення напору при нульовій витраті (визначається за напірною характеристикою насоса); $\omega$ – поточне значення кутової швидкості насоса; $H_c$ – статичний напір насоса.

Статичний напір насоса змінюється у відповідності до виразу

$$H_c = \frac{H - H_н \cdot \left(\frac{Q_{витр}}{Q_н}\right)^2}{1 - \left(\frac{Q_{витр}}{Q_н}\right)^2}, \qquad (2)$$

де $H$ – напір, що створюється насосом; $H_н$ – номінальний напір насоса; $Q_{витр}$ – витрата рідини в гідросистемі.

Схему моделі насоса, яка реалізує функціональну залежність $Q=f(\omega)$ представлено на рис. 4.

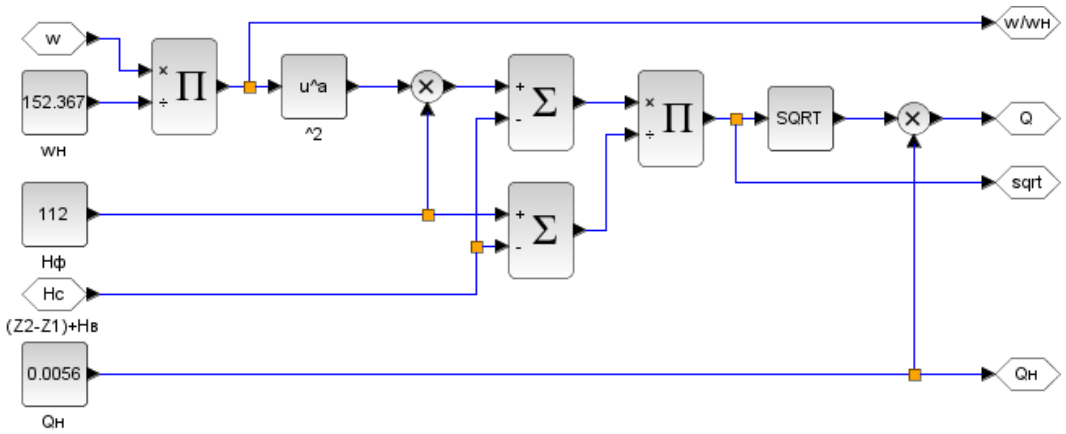



Рис. 4. Схема моделі за формулою (1)

Залежність напору насоса від його кутової швидкості $H=f(\omega)$ визначається за формулою

$$H = H_c + \frac{(H_н - H_c)\cdot\left(H_ф\cdot\left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^2 - H_c\right)}{H_ф - H_c}. \qquad (3)$$

Схему моделі насоса, яка реалізує функціональну залежність $H=f(\omega)$ представлено на рис. 5.

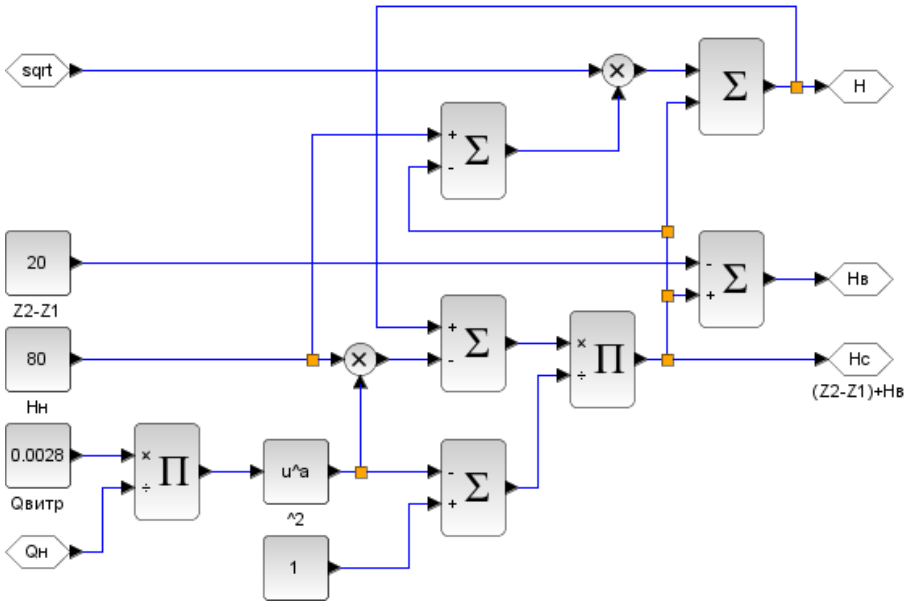



Рис. 5. Схема моделі за формулами (2) та (3)

Момент статичного опору, який створюється насосом $M_o=f(\omega)$

$$M_o = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\omega \cdot \eta_{нас}}, \quad (4)$$

де ρ – щільність рідини, що перекачується; $g$ – прискорення вільного падіння; $\eta_{нас}$ – ККД насоса.

ККД насоса в залежності від кутової швидкості насоса визначається за формулою

$$\eta_{нас} = 1 - \frac{1 - \eta_н}{\left(\frac{\omega}{\omega_н}\right)^{0,36}}, \quad (5)$$

де $\eta_н$ – номінальний ККД насоса.

Схему моделі насоса, яка реалізує функціональну залежність $M_o=f(\omega)$ представлено на рис. 6.

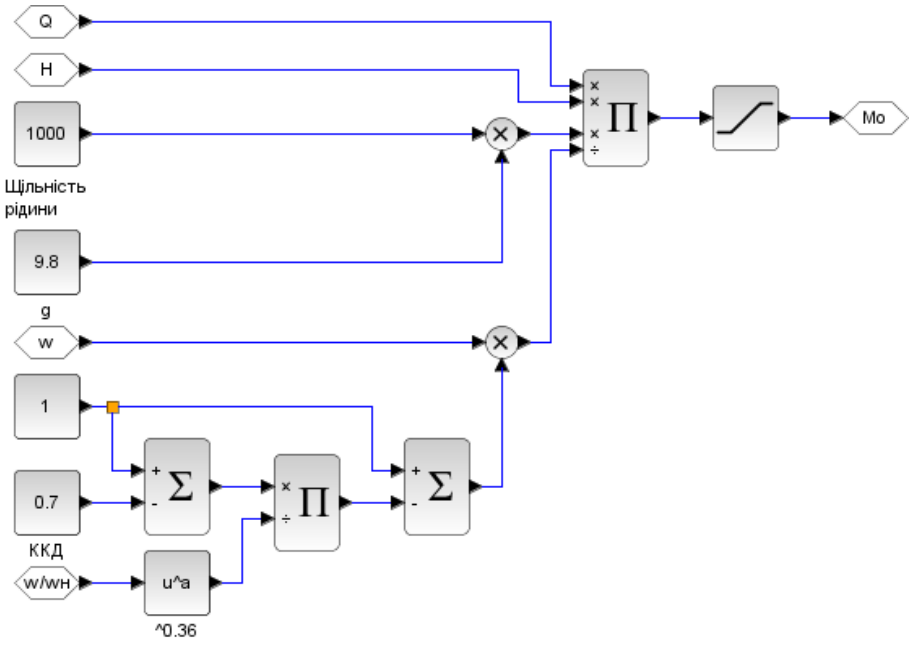
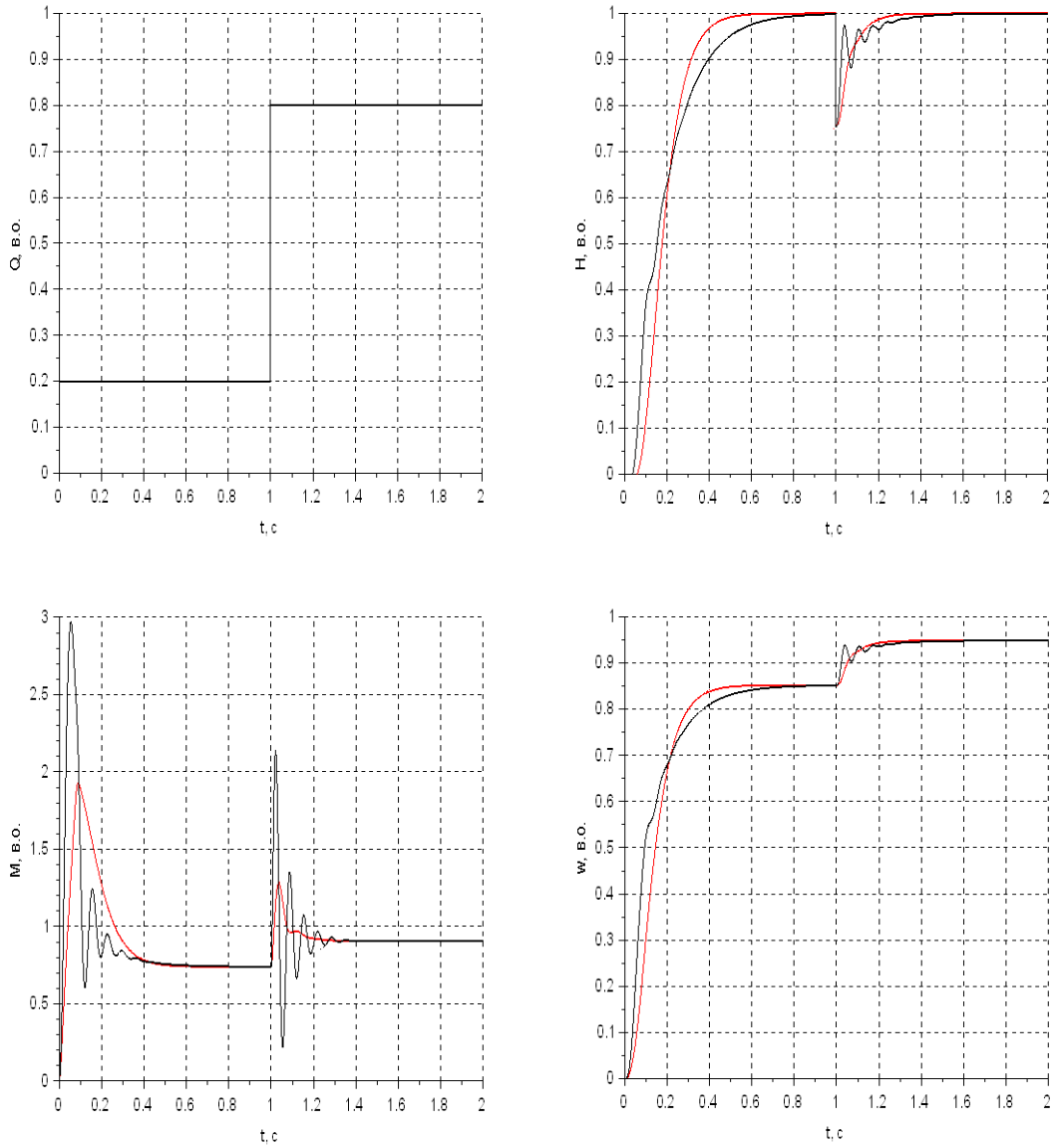



Рис. 6. Схема моделі за формулами (4) та (5)

Для систем керування важливим є поняття якості перехідних процесів, тобто важливий характер протікання процесів, особливо такі фактори, як тривалість, коливальність і динамічне відхилення регульованої змінної від заданої величини. Перехідні характеристики досліджуваної моделі асинхронного електропривода мережевого насоса з класичним і нечітким регуляторами при зміні витрати в гідросистемі наведено на рис. 7.




– з класичним ПІД-регулятором;
– з ПІД-подібним нечітким регулятором

Рис. 7. Перехідні характеристики системи

За результатами аналізу якості керування по перехідних характеристиках можна зробити висновок, що асинхронний електропривод з нечітким регулятором має більш високі динамічні показники щодо системи із класичним ПІД-регулятором. Отримані результати підтверджують доцільність та ефективність застосування нечітких ПІД-подібних регуляторів напору в асинхронному електроприводі систем водопостачання.

**Висновки.** В представленій роботі побудовано модель асинхронного електропривода з нечітким регулятором системи водопостачання, яка дозволяє визначати робочі параметри, аналізувати електромеханічні, енергетичні процеси та досліджувати динаміку асинхронного електропривода при зміні режимів роботи насосного агрегату. Результати імітаційного моделювання в пакеті прикладних математичних програм Scilab показали доцільність застосування нечіткої логіки в структурі класичних ПІД-регуляторів асинхронного електропривода систем водопостачання та підтвердили перспективність такого підходу. Використання методів теорії нечіткої логіки при синтезі регулятора напору дозволяє зробити процес керування більш адаптивним. Запропонований алгоритм синтезу системи нечіткої логіки регулятора напору за допомогою модуля sciFLT рекомендовано до практичного використання.

**Список використаних джерел**

1. *Фащиленко В. Н.* Регулируемый электропривод насосных и вентиляторных установок горных предприятий: учеб. пособие. Москва: Горная книга, 2011. 260 с.

2. Моделирование технологических режимов работы насосных установок с частотно-регулируемым электроприводом / А. В. Чермалых, И. Я. Майданский, О. Б. Доценко, Ю. И. Затирка. *Проблеми енергоресурсозбереження в електротехнічних системах. Наука, освіта і практика.* 2014. Вип. 1 (2). С. 49-52.

3. *Барабанов В. Г., Гаврилов Д. П.* Разработка и исследование системы управления насосной установкой. *Вестник ЮУрГУ. Сер. Машиностроение.* 2017. Т. 17, № 2. С. 11-19.

4. Адаптивный энергосберегающий алгоритм управления для преобразователей частоты привода насосов системы водоснабжения / *Д. М. Таранов* и др. *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. Краснодар: КубГАУ, 2014. № 2 (096). С. 117-128. URL: http://ej.kubagro.ru/2014/02/pdf/10.pdf (дата звернення: 02.02.2019).

5. *Jin J., Huang H.* Study on fuzzy self-adaptive PID control system of biomass boiler drum water. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems.* 2013. Vol. 3, № 1. P. 93-98.

6. *Есилевский В. С., Кузнецов В. Н., Уварова Л. В.* Минимизация энергозатрат на управление насосными станциями путем

использования регуляторов с нечеткой логикой. *Сантехника. Водоснабжение. Водоотведение*. 2009. № 1. С. 64-70.

7. Динамика электропривода с нечетким регулятором / *С. В. Ланграф* и др. *Известия Томского политехнического университета*. 2010. Т. 316, № 4. С. 168-173.

8. Исследование классических и нечетких ПИД-регуляторов для нестационарных объектов управления / В. И. Копылов, Д. И. Муравьев, В. Г. Коломыцев, Г. И. Рустамханова. *Фундаментальные исследования*. 2016. № 11. С. 532-536.

9. Моделирование регулятора на базе нечеткой логики для управления турбогенератором / *А. Г. Бикметов* и др. *Современные наукоемкие технологии.* 2017. № 4. С. 23-27.

10. Лезнов Б. С. Энергосбережение и регулируемый привод в насосных и воздуходувных установках. Москва: Энергоатомиздат, 2006. 360 с.

11. *Campbell S. L., Chancelier J.-P., Nikoukhah R.* Modeling and Simulation in Scilab/Scicos with ScicosLab 4.4. New York: Springer, 2009. 332 p.

12. *Leros A., Andreatos A.* Using Xcos as a Teaching Tool in a Simulation course. *WORLD-EDU'12/CIT'12:* Proceedings of the 6th international conference on Communications and Information Technology, and Proceedings of the 3rd World conference on Education and Educational Technologies. 2012. P. 121-126.

13. Fuzzy Logic Toolbox. Atoms: Homepage. URL: https://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7 (Last accessed: 02.02.2019).

14. *Терехов В. М., Осипов О. И.* Системы управления электроприводов. Москва: Академия, 2005. 300 с.

## ДИНАМИКА АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С НЕЧЕТКИМ РЕГУЛЯТОРОМ В СИСТЕМАХ ВОДОСНАБЖЕНИЯ

**Билюк И., Бугрим Л., Гаврилов С., Кириченко О., Фоменко А., Шарейко Д.**

***Аннотация*** **–** в работе исследованы переходные процессы в асинхронном электроприводе насосного агрегата з ПИД-подобным нечетким регулятором. Выполнен сравнительный анализ качества управления в системе с классическим и нечетким регуляторами. Обосновано применение нечеткого регулятора в асинхронном электроприводе насосного агрегата системы водоснабжения и доказано, что применение нечеткой логики приводит к повышению качества

переходного процесса системы. Моделирование проводилось с помощью пакета прикладных математических программ Scilab.

***Ключевые слова:*** нечеткая логика, регулятор, асинхронный электропривод, сетевой насос, моделирование, переходная характеристика.

# DYNAMICS OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH FUZZY CONTROLLER FOR WATER SUPPLY SYSTEMS

**I. Biliuk, L. Buhrim, S. Havrylov, O. Kyrychenko, A. Fomenko, D. Shareiko**

**Summary**

The results of researching dynamics of an asynchronous electric drive with fuzzy controller of water supply systems are presented in this paper. The model of the asynchronous electric drive of network pump with stabilization of pressure in the hydraulic system has been built. The model structure contains electromechanical and mechanical parts. The electromechanical system is an asynchronous frequency control drive with fuzzy controller of pressure, a mechanical one is a line pump. The presented structure of the model allows to determine operating parameters; analyze the electromechanical, energy processes; explore the dynamics of an asynchronous electric drive when the operating modes of the pump unit are changed. In addition to that, it is possible to assess the energy-efficient aspects of an adjustable electric drive with fuzzy logic in water supply systems usage. This model can be used for any pump unit with a change in the source data. Synthesis of a fuzzy PID-controller is realised using the sciFLT fuzzy logic system development module. A knowledge base of fuzzy controller has been developed. The application of methods based on the fuzzy logic theory in the controller of pressure allows to make control process more adaptive. A synthesis algorithm of fuzzy logic system for a pressure controller using the sciFLT module is proposed. The algorithm is recommended for practice. Simulation of an asynchronous electric drive with fuzzy PID-controller has been carried out in the Xcos program of the Scilab software package. The transient characteristics of an asynchronous electric drive of a pump unit with fuzzy PID-controller of pressure are built and the quality of control has been assessed. A comparative analysis of the quality of control in the system with classical and fuzzy controllers has been done. The application of this fuzzy controller of pressure in an asynchronous electric drive of a pump unit of water supply systems is validated and it is proved that employment of fuzzy logic increases the quality of time response process in system.

**Key words:** fuzzy logic, controller, asynchronous electric drive, network pump, simulation, step response.

**УДК 621.313.3: 681.5** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-29**

# ДІАГНОСТИЧНІ МОДЕЛІ АВАРІЙНИХ СТАНІВ СИЛОВИХ БЛОКІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

**Кулагін Д. О., к. т. н,** **http://orcid.org/0000-0003-3610-4250**
**Чернецький Б. С., аспірант*** **http://orcid.org/0000-0002-3730-7247**
*Національний університет «Запорізька політехніка»*
e-mail: bogdan1chernetskiy@gmail.com

***Анотація*** - у даній роботі отримано блочну модель силових блоків електротехнічних систем, яка оперує з сукупністю моделей підсистем окремих блоків, вузлів та елементів електротехнічних систем. Об'єкт діагностування розбито на функціональні блоки, з точністю до яких проводиться пошук дефектів. В якості основних діагностичних елементів силових кіл розглянуто випрямляч та інвертор.

Завдяки аналізу діагностичної моделі випрямляча, перш за все, було оцінено який об'єм діагностичної інформації потрібен для повноцінної роботи моделі. В якості контрольованого параметра був обраний струм тиристора, оскільки діагностична модель заснована на застосуванні датчиків струму, що протікає через силові вентилі. Встановлено, що для повного діагностування достатньо контролювати струм у фазах та струм у колі живлення.

В залежності від струму розподілення у схемі усі режими роботи розділено на: робочий стан, стан короткого замикання, коли струм протікає одночасно в обох плечах моста, стан обриву вентиля. Кожен стан описано відповідним рівнянням. Також встановлено, що для діагностування необхідно контролювати струми в плечах моста інвертора.

Отримані результати дозволяють визначити місце знаходження датчиків у схемі перетворювача, що контролюють стан перетворювача.

Згідно з отриманими даними необхідно встановити датчики , що вимірюють струми у кожній фазі випрямляча, струм у колі живлення та струми, що протікають через силові вентилі інвертора.

Розроблені діагностичні моделі станів силових блоків та загальна діагностична модель станів дозволили визначити мінімальну сукупність діагностичних ознак та точки зняття діагностичної інформації.

***Ключові слова:*** об'єкт діагностування, випрямляч, перетворювач, мостова схема.

**Постановка проблеми.** Методи діагностування виникнення зовнішніх аварій поза межами силових кіл та систем керування електротехнічних систем на сьогоднішній день не є досить ефективними [1 – 3]. Це унеможливлює уніфікацію діагностичних моделей для проведення локалізації та попередження аварійних режимів. Також, на сьогодні практично відсутня блочна модель, яка

© Кулагін Д. О., Чернецький Б. С.
Науковий керівник: Кулагін Д. О., к.т.н., доцент

оперує з сукупністю моделей підсистем окремих блоків, вузлів та елементів. Це не дозволяє отримати більш детальну інформацію, та за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови.

**Аналіз останніх досліджень.** Згідно [1 – 2] проводилася робота з діагностики аварійних режимів та моделювання процесів, які виникли в силових колах, але не вивчалися питання діагностування аварій поза межами силових кіл. В працях [3 – 4] проводилася робота з діагностики електрообладнання під час виникнення аварійних режимів в системах керування, але не розглядалося питання виникнення зовнішніх аварій поза межами систем керування. В працях [5 – 6] підіймали питання вивчення електротехнічних установок з вентильними перетворювачами, але питання аварійних режимів зовнішніх аварій не були достатньо глибоко вивчені. У цій статті питання зовнішніх аварій поза межами силових кіл та систем керування будуть більш детально доопрацьовані.

З аналізу методів діагностування [1 – 5] було зроблено висновок, що найбільш доцільно проводити оцінку станів силових блоків електротехнічних системах (далі – ЕТС) по змінним станам і вихідним сигналам та використовувати принцип діагностування на основі математичної моделі об’єкту.

**Формування цілей статті**. Виконаємо функціональне діагностування системи керування (далі – СК), яке дозволить за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови.

**Основні матеріали досліджень**.

Суттєвими факторами, що впливають на розвиток відмов є: температура, вологість, тиск, середня потужність, підвищена частота, велике діюче значення струму, велика амплітуда імпульсного струму, великі швидкості зростання струмів на напруг, граничні значення струмів та напруг.

Виконаємо функціональне діагностування СК, яке дозволяє вирішувати наступні задачі [5]:

- за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови;
- за наявності резервування з дробовою кратністю завчасно виявляти вузли, що відмовили, та замінювати їх з мінімальними витратами часу на відновлення.

Функціональна модель описує перетворювач як єдину систему, блочна модель оперує з сукупністю моделей підсистем окремих

блоків, вузлів та елементів. Звичайно, в останньому випадку вдається отримати великий об’єм діагностичної інформації, що особливо важливо при функціональному діагностуванні, коли вибір тестових впливів обмежений робочими сигналами керування та напругою живлення. Побудова та аналіз функціональної моделі перетворювача дозволяють спростити систему діагностування та скоротити число датчиків.

Об’єкт діагностування розбивається на такі функціональні блоки, з точністю до яких необхідно проводити пошук дефектів. Так як основними елементами є випрямляч (далі – В) та автономний інвертор (далі – АІ), то розглянемо діагностування стану саме цих блоків. Задача діагностування полягає у виявленні та оцінці місцезнаходження елементів більшості дефектів. У якості дефектів, що виникають у системах керування, можна виділити такі, як: обриви, короткі замикання елементів, зриви інвертування, перегрів силових вентилів. При цьому на діагностичні параметри (які містять інформацію про несправність, над якими встановлені нагляд та контроль) накладаються додаткові обмеження. В якості діагностичних параметрів виступають струми, що протікають у гілках системи.

В якості В для перетворювачів підвищеної частоти найбільш часто використовують трифазну мостову схему (схема Ларіонова) [6, 7], що представлена на рис. 1.

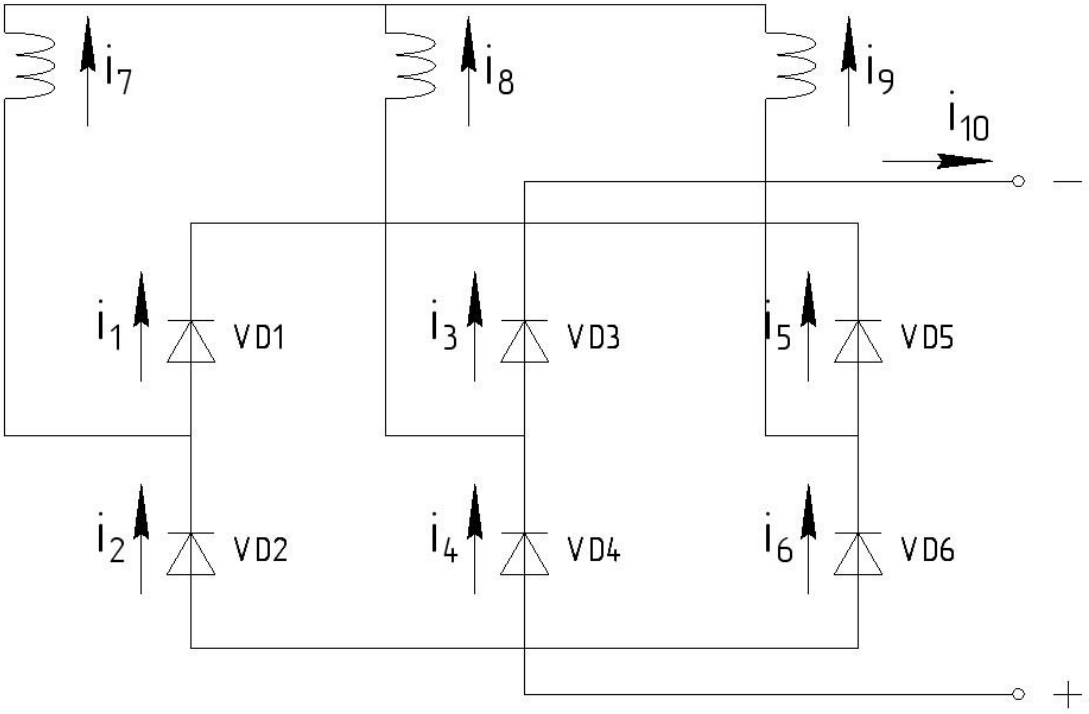



Рис. 1. Трифазний мостовий випрямляч

Аналіз діагностичної моделі (далі - ДМ) дозволяє, перш за все, оцінити який об’єм діагностичної інформації потрібен. При функціональному діагностуванні необхідно обрати сукупність контрольованих параметрів, тобто контрольних точок та датчиків відповідних величин (струмів, напруг, тимчасових співвідношень, температур). ДМ суттєво залежить від оцінюваних факторів. Як вже було сказано раніше, найчастіше використовуються датчики струмів, напруг (що здійснюють безпосереднє вимірювання) та датчикі провідності (призначені для фіксації відкритого (закритого) стану силових вентилів).

Діагностична модель В будується на основі його структури (рис. 2).

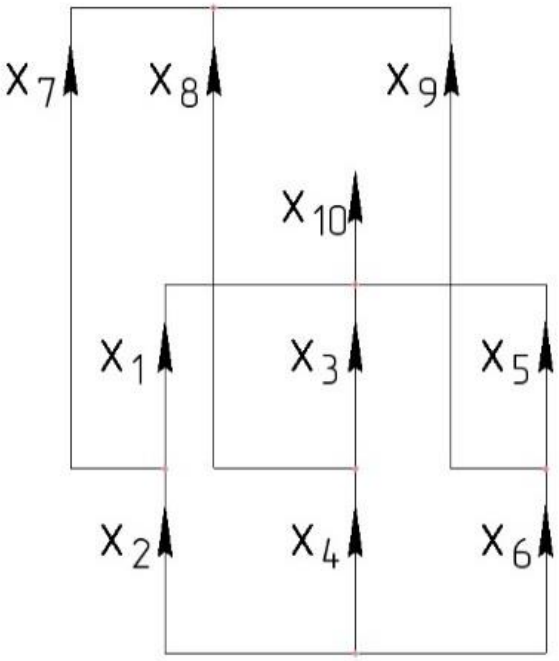



Рис. 2. Діагностична модель випрямляча

Приведемо отримані результати. Прийнята діагностична модель основана на застосуванні датчиків струмів, що протікають через силові вентилі, такий вибір продиктований необхідністю потенціальної розв’язки діагностованого кола та приладу діагностики, тому в якості контрольованого параметра використовується струм тиристора.

Усі режими роботи, в залежності від струму розподілення у схемі, можна розділити на чотири непересічні множини:

- множина аварійних режимів, коли увімкненим виявляються два тиристора, які входять до складу одного «напівмоста» , і через них тече весь струм живлення;

- «перед аварійний» режим, коли увімкненими виявляються одразу три тиристора, а струм тече одночасно у трьох плечах мосту;
- множина робочих режимів, коли робота схеми, що містить несправний тиристор, не відрізняється від роботи справної схеми;
- множина, що складається з одного елемента (початковий режим) , коли у схемі, що містить несправний тиристор, не виникло коло для протікання струму живлення.

Кожну множину можна описати логічними рівняннями:

$$
\begin{aligned}
&F_a = x_1x_2\overline{x}_3\overline{x}_4\overline{x}_5\overline{x}_6\overline{x}_7\overline{x}_8\overline{x}_9x_{10} \vee \overline{x}_1\overline{x}_2x_3x_4\overline{x}_5\overline{x}_6\overline{x}_7\overline{x}_8\overline{x}_9x_{10} \vee \\
&\vee \overline{x}_1\overline{x}_2\overline{x}_3\overline{x}_4x_5x_6\overline{x}_7\overline{x}_8\overline{x}_9x_{10};\\
&F_{\text{п}} = \overline{x}_1x_2x_3\overline{x}_4\overline{x}_5x_6x_7x_8x_9x_{10} \vee x_1\overline{x}_2x_3\overline{x}_4\overline{x}_5x_6x_7x_8x_9x_{10} \vee \\
&\vee x_1\overline{x}_2\overline{x}_3x_4\overline{x}_5x_6x_7x_8x_9x_{10} \vee x_1\overline{x}_2\overline{x}_3x_4x_5\overline{x}_6x_7x_8x_9x_{10} \vee \\
&\vee \overline{x}_1x_2\overline{x}_3x_4x_5\overline{x}_6x_7x_8x_9x_{10} \vee \overline{x}_1x_2x_3\overline{x}_4x_5\overline{x}_6x_7x_8x_9x_{10};\\
&F_{\text{р}} = x_1\overline{x}_2\overline{x}_3\overline{x}_4\overline{x}_5x_6x_7\overline{x}_8x_9x_{10} \vee x_1\overline{x}_2\overline{x}_3x_4\overline{x}_5\overline{x}_6x_7x_8\overline{x}_9x_{10} \vee \\
&\vee \overline{x}_1\overline{x}_2\overline{x}_3x_4x_5\overline{x}_6\overline{x}_7x_8x_9x_{10} \vee \overline{x}_1x_2\overline{x}_3\overline{x}_4x_5\overline{x}_6x_7x_8\overline{x}_9x_{10} \vee \\
&\vee \overline{x}_1x_2x_3\overline{x}_4\overline{x}_5\overline{x}_6x_7x_8\overline{x}_9x_{10} \vee \overline{x}_1\overline{x}_2x_3\overline{x}_4\overline{x}_5x_6\overline{x}_7x_8x_9x_{10};\\
&F_{\text{н}} = \overline{x}_1\overline{x}_2\overline{x}_3\overline{x}_4\overline{x}_5\overline{x}_6\overline{x}_7\overline{x}_8\overline{x}_9\overline{x}_{10},
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

де $x_i$ – логічні сигнали датчиків струму; $\mathrm{F_a}, \mathrm{F_П}, \mathrm{F_р}, \mathrm{F_Н}$ – функції, які описують відповідно аварійний, передаварійний, робочий та початковий режими. Після мінімізації виразів відомими методами (визначаємо мінімальну сукупність контрольних точок) отримуємо :

$$
\begin{aligned}
&F_a = \overline{x}_7\overline{x}_8\overline{x}_9x_{10};\ F_{\text{п}} = x_7x_8x_9x_{10};\\
&F_{\text{р}} = x_7\overline{x}_8x_9 \vee \overline{x}_7x_8x_9 \vee x_7x_8\overline{x}_9;\ F_{\text{н}} = \overline{x}_{10}.
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Отже, для діагностування досить контролювати струми у фазах та струм в колі живлення.

В якості АІ широко використовується мостова схема зі зустрічно-паралельними діодами, вентильний блок якого приведений на рис. 3. На прикладі даної схеми побудуємо ДМ АІ.

Діагностична модель АІ будується аналогічно ДМ В – на основі своєї структури. В якості контрольованих параметрів також використовуються струми, що протікають у силових вентилях. ДМ АІ приведена на рис. 4.

В ДМ параметром $\mathrm{X_i}$ позначаються логічні сигнали датчиків струму ( $\mathrm{x_i} = 1$ – струм через вентиль протікає, $\mathrm{x_i} = 0$ – струм через вентиль не протікає, $\mathrm{x_5}$ – може приймати будь-які значення, так як ми проводимо діагностику струмів, що протікають у вентилях), і-номер гілки.

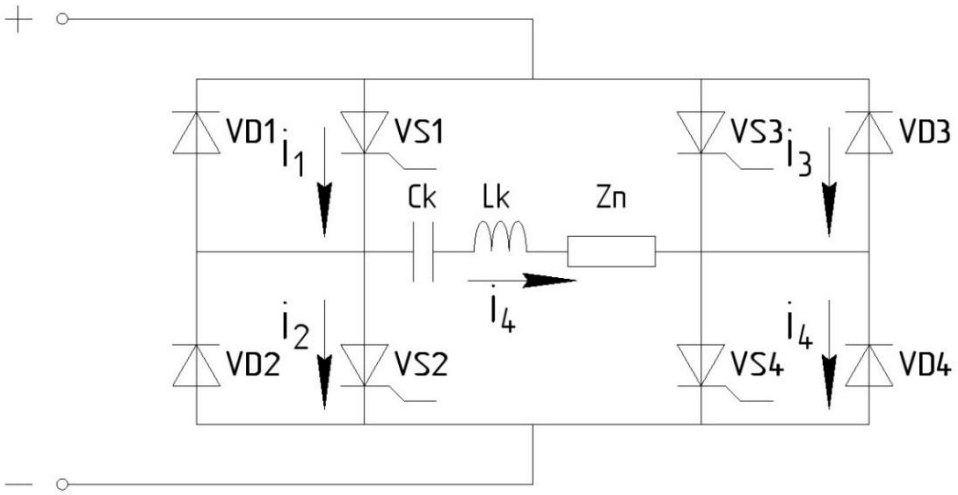



Рис. 3. Вентильний блок автономного інвертора

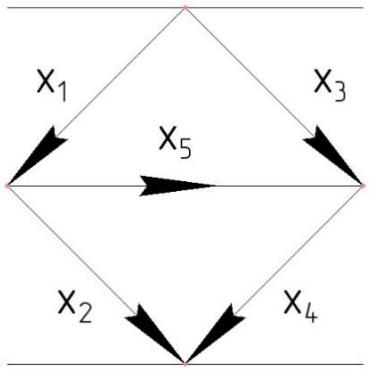



Рис. 4. Діагностична модель автономного інвертора

В залежності від струму розподілення у схемі усі режими роботи можна розділити на:

- робочий стан
- стан короткого замикання, коли струм протікає одночасно в обох плечах моста
- стан обриву вентиля.

Кожен стан можна описати логічними рівняннями:

$$F_{\text{р}} = x_1\overline{x}_2\overline{x}_3x_4x_5 \vee \overline{x}_1x_2x_3\overline{x}_4x_5 \vee \overline{x}_1\overline{x}_2\overline{x}_3\overline{x}_4\overline{x}_5;$$

однократна відмова

$$F_{\text{кз1}} = \overline{x}_1x_2x_3x_4x_5 \vee x_1\overline{x}_2x_3x_4x_5 \vee x_1x_2\overline{x}_3x_4x_5 \vee x_1x_2x_3\overline{x}_4x_5; \quad (3)$$

двократна відмова

$$F_{\text{кз1}} = x_1x_2x_3x_4x_5;$$

$$F_{\text{о}} = x_1\overline{x}_2x_3\overline{x}_4x_5 \vee \overline{x}_1x_2\overline{x}_3x_4x_5,$$

де $\text{F}_{\text{р}}, \text{F}_{\text{кз}}, \text{F}_{\text{о}}$ – функції, що описують відповідно робочий режим, режим короткого замикання та режим обриву. Нанесемо функції режимів на карту Карно, кожна заповнена клітинка відповідає несправності, кратність якої позначена індексом, знаком «Х» позначені фізичні стани, які не можна реалізувати.

Після мінімізації виразів отримаємо:

$$F_{\text{A}} = x_2x_4 \vee x_1x_3. \quad (4)$$

Змінна $\text{x}_5$ не приймає участь в формуванні функції $\text{F}_{\text{A}}$, що відповідає аварійному режиму. Отримана функція $\text{F}_{\text{A}}$ є тестом, що контролює несправності $\text{F}_{\text{кз1}}, \text{F}_{\text{кз2}}, \text{F}_{\text{о}}$ сумісно, тобто цей тест є діагностичним для будь-яких поєднань несправностей.

Звідси, для діагностування необхідно контролювати струми в плечах моста АІ.

**Висновок.** В статті ставилося за мету провести функціональне діагностування СК, яке дозволило б за допомогою вбудованих засобів якнайшвидше визначати елемент, що відмовив (вентиль) та здійснювати таке керування перетворювачем, що зменшить збитки від відмови, за наявності резервування з дробовою кратністю завчасно виявляти вузли, що відмовили та замінювати їх з мінімальними витратами часу на відновлення.

Завдяки ДМ вдалось вивести функцію $\text{F}_{\text{A}}$, яка контролює несправності $\text{F}_{\text{кз1}}, \text{F}_{\text{кз2}}, \text{F}_{\text{о}}$ . Вдалося отримати дані, згідно з якими, для вирішень питань, необхідно встановити датчики, що вимірюють струми у кожній фазі В, струм в колі живлення та струми, що протікають через силові вентилі АІ.

Отримані результати дозволяють визначити місце знаходження датчиків у схемі перетворювача, що контролюють стан перетворювача.

**Список використаних джерел**

1. *Калкаманов С. А., Коваленко А. В., Шавкун В. М.* Технічна діагностика електромеханічних систем: конспект лекцій з дисципліни. Харків: ХНУМГ, 2014. 152 с.

2. *Карамзина А. Г.* Исследование и моделирование работы электротехнологических установок с вентильными преобразователями. Материалы докл. IX всерос. межвуз. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Москва: МИЭТ, 2002. С. 228.

3. *Ільченко Б. С.* Діагностування функціонально-технічного стану газоперекачувальних агрегатів. Харків: ХНАМГ, 2011. 228 с.

4. *Кутін В. М., Ілюхін М. О., Кутіна М. В.* Діагностика електрообладнання: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 161 с.

5. *Маркин В. В., Миронов В. Н., Обухов С. Г.* Техническая диагностика вентильных преобразователей. Москва: Энергоатомиздат, 1985. 152 с.

6. *Дубовицкий Г. П.* Трехфазные выпрямители: учебн. пособие. Челябинск, 1999. 25 с.

7. Тиристорные преобразователи частоты / *А. К. Белкин* и др. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 263 с.

## ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ АВАРИЙНЫХ СОСТОЯНИЙ СИЛОВЫХ БЛОКОВ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Кулагин Д. А., Чернецкий Б. С.**

***Аннотация*** - в данной работе получена блочная модель силовых блоков электротехнических систем, которая оперирует с совокупностью моделей подсистем отдельных блоков, узлов и элементов электротехнических систем. Объект диагностирования разбит на функциональные блоки, с точностью до которых производится поиск дефектов. В качестве основных диагностических элементов силовых цепей рассмотрены выпрямитель и инвертор.

Благодаря анализу диагностической модели выпрямителя, прежде всего, было оценено какой объем диагностической информации нужен для полноценной работы модели. В качестве контролируемого параметра был избран ток тиристора, поскольку диагностическая модель основана на применении датчиков тока, протекающего через силовые вентили. Установлено, что для полного диагностирования достаточно контролировать ток в фазах и ток в цепи питания.

В зависимости от тока распределения в схеме все режимы работы разделены на: рабочее состояние, состояние короткого замыкания, когда ток протекает одновременно в обоих плечах моста, состояние обрыва вентиля. Каждое состояние описано соответствующим уравнением. Также установлено, что для диагностирования необходимо контролировать токи в плечах моста инвертора.

Полученные результаты позволяют определить место нахождения датчиков в схеме преобразователя, контролирующие состояние преобразователя.

Согласно полученным данным необходимо установить датчики, измеряющие токи в каждой фазе выпрямителя, ток в цепи питания и токи, протекающие через силовые вентили инвертора.

Разработанные диагностические модели состояний силовых блоков и общая диагностическая модель состояний позволили определить минимальную совокупность диагностических признаков и точки снятия диагностической информации.

***Ключевые слова:*** объект диагностирования, выпрямитель, преобразователь, мостовая схема.

# DIAGNOSTIC MODELS OF ACCIDENT STATES OF POWER BLOCKS OF ELECTROTECHNICAL SYSTEMS

**D. Kulagin, B. Chernetskiy**

***Summary***

In this paper a block model of power blocks of electrical engineering systems is obtained, which operates with a set of models of subsystems of separate units, nodes and elements of electrical engineering systems. The object of diagnosis is divided into functional blocks, with the accuracy of which the search for defects is carried out. The rectifier and inverter are considered as the main diagnostic elements of the power circuits.

Thanks to the analysis of the diagnostic model of the rectifier, first of all, it was estimated what volume of diagnostic information is needed for the full operation of the model. As a controlled parameter, the current of the thyristor was selected, since the diagnostic model is based on the use of current sensors that flow through the power valves. It is established that for complete diagnostics it is enough to control current in phases and current in the power circle.

Depending on the distribution current in the circuit, all modes of operation are divided into: operating state, short-circuit condition, when the current flows simultaneously on both shoulders of the bridge, the condition of the break of the valve. Each state is described by the corresponding equation. It is also established that for the diagnosis it is necessary to control the currents in the shoulders of the inverter bridge.

The obtained results allow to determine the location of sensors in the converter circuit that control the state of the converter.

According to the data obtained, it is necessary to install sensors measuring the currents in each phase of the rectifier, current in the circle of power and currents flowing through the power valves of the inverter.

The developed diagnostic models of the states of power blocks and the general diagnostic model of the states allowed to determine the minimum set of diagnostic signs and the point of removal of diagnostic information.

***Keywords***: diagnostic object, rectifier, converter, bridge scheme.

**УДК 621.316.92:621.313.333 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-30**

# ДІАГНОСТУВАННЯ ЗА СТРУМОМ, ЯК МЕТОД ЗАХИСТУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЇ СИСТЕМИ З АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ

**Нестерчук Д. М., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0003-1995-9564**
**Курашкін С. Ф., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-3361-9489**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: *etem@tsatu.edu.ua*

***Анотація*** **–** розглянута можливість вдосконалення методології діагностування за струмом електромеханічної системи (ЕМС) з асинхронними електродвигунами (АД). Обґрунтовано, що впровадження надійної й ефективної системи діагностування та захисту АД від аварійних режимів роботи дозволить зменшити кількість та частоту аварійних ситуацій, подовжити термін служби електродвигунів та підвищити їх експлуатаційну надійність, так як найбільшу ефективність забезпечує діагностування в режимі функціонування з визначення дефектів на ранніх стадіях розвитку. Проаналізовані існуючі методи технічного діагностування асинхронних електродвигунів, як головної складової електромеханічної системи. Сформульовані основні завдання діагностування електромеханічної системи з асинхронними електродвигунами. Наведена структура алгоритму функціонування системи діагностування та захисту. Практична реалізація запропонованого алгоритму здійснена на базі контролю струму статора електродвигуна з використанням його перевантажувальної характеристики. Слід відзначити практичну значущість визначення коефіцієнтів математичних рівнянь, які описують перевантажувальні характеристики різних типів асинхронних електродвигунів серії АІР, що дозволяють в чисельному вигляді обґрунтовувати значення уставок спрацювання технічного пристрою моніторингу та захисту роботи АД. Пропонується принципова електрична схема, яка реалізує описаний вище алгоритм функціонування системи діагностування та захисту АД.

***Ключові слова:*** надійність, електромеханічна система, асинхронний електродвигун, діагностування, захист, алгоритм функціонування, експлуатаційний режим, перевантаження, допустимий час роботи.

**Постановка проблеми.** Перетворення електричної енергії в механічну за допомогою трифазних асинхронних електродвигунів (АД) дозволяє легко і економічно вигідно приводити в рух різноманітні робочі машини та механізми технологічних ліній. Сучасні стандарти більшості країн світу висувають все жорсткіші умови щодо безпечної експлуатації АД. Вітчизняний та закордонний досвід показує популярність АД, але їхньому оптимальному використанню перешкоджає висока по-

© Нестерчук Д. М., Курашкін С. Ф.

шкоджуваність. Відмова АД може призвести до зупинки робочої машини, тому основним чинником безаварійної роботи АД є його надійність під час експлуатації. Одним із шляхів скорочення браку продукції на виробництві та підвищення надійності обладнання є прогнозування виходу з ладу за допомогою методів діагностування, моніторинг найбільш розповсюджених несправностей та захист АД від аварійних експлуатаційних режимів [1, 2, 3].

Трифазні асинхронні електродвигуни є головною складовою електромеханічної системи (ЕМС), однак постійного контролю параметрів потребують всі її складові: «мережа живлення – перетворювач – електродвигун», а також їх коливання, зміни, взаємовплив.

Цілком очевидно, що впровадження надійної й ефективної системи діагностування та захисту АД від аварійних режимів роботи дозволить зменшити кількість та частоту аварійних ситуацій, подовжити термін служби електродвигунів та підвищити їх експлуатаційну надійність. Найбільшу ефективність забезпечує діагностування в режимі функціонування з визначення дефектів на ранніх стадіях розвитку.

**Аналіз останніх досліджень.** Прогнозування технічного стану, а також аналіз причин відмов складових ЕМС є актуальною задачею під час діагностування параметрів надійності. Проблема вирішується за умови впровадження системи діагностування, яка контролює зміну характеристик і приймає рішення щодо виведення з експлуатації електродвигунів, коли параметри ЕМС змінюються настільки інтенсивно, що її аварійний вихід з ладу можливий раніше терміну планового відключення для технічного обслуговування.

Безвідмовне функціонування АД в процесі експлуатації характеризується надійністю ізоляції обмоток електродвигуна. Основною характеристикою ізоляції є електрична міцність, яка під час експлуатації може залишатися незмінною за умови роботи АД при номінальних (каталожних) параметрах. Однак, в процесі тривалої експлуатації на електродвигуни впливають різноманітні експлуатаційні чинники, що призводять до зростання температури обмоток та, як наслідок, до скорочення строку служби електродвигуна [3, 4]. Незадовільна якість напруги живлення, підвищена температура, наявність вологості, порушення правил технічної експлуатації обладнання призводять до виходу з ладу 20-25% АД за рік. Причини відмов – технологічні (близько 35%), конструкційні (до 15%), експлуатаційні (більш 50%) [3, 5].

Підвищити показники надійності можна за рахунок комплексного діагностування технічного стану електродвигунів замість оцінки показників працездатності їх окремих елементів – цей шлях є найбільш ефективним.

**Формулювання цілей статті –** вдосконалення системи діагностування та захисту АД для підвищення технічної та економічної ефективності експлуатації електродвигунів у складі електромеханічної системи.

**Основні матеріали дослідження.** Згідно з [4] діагностуванню підлягають теплові процеси, які відбуваються у АД, процеси, що супроводжуються надструмами, процеси при неповнофазних режимах, а також поточний стан ізоляції АД. Тому, доцільним є формулювання основних завдань діагностування ЕМС з АД, а саме:

- розробка технічного завдання на проведення прогнозування та діагностування;
- дослідження фону прогнозування, мета якого – опис впливу зовнішніх факторів на АД в процесі експлуатації;
- складання прогнозного діагнозу для узагальненого опису ЕМС, прогнозного фону для виявлення тенденцій їх загального розвитку, а також вибір методу прогнозування;
- побудова моделі прогнозування, яка описує ЕМС та визначає якісний та кількісний прогноз її технічного стану [6];
- контроль параметрів діагностування АД: споживаного струму та температури обмотки [4];
- контроль умов експлуатації;
- контроль показників якості електроенергії;
- розробка алгоритмів функціонування системи діагностування;
- визначення кроку дискретизації;
- оцінювання (порівняння) та аналіз фактичних та еталонних (регламентованих) значень теплових, електромагнітних та механічних параметрів з метою прогнозування залишкового ресурсу АД;
- захист від аварійних ситуацій та режимів роботи;
- складання протоколів діагностування ЕМС з АД та формування загального висновку щодо подальшої експлуатації.

На рис. 1 наведена узагальнена класифікація методів технічного діагностування ЕМС з АД.

Аналіз наведеної класифікації дозолив зробити висновок, що одні методи є такими, які дозволяють визначати види пошкоджень при проведенні технічного обслуговування, а інші застосовуються для АД в режимі їх функціонування. Комплексний підхід до вирішення проблеми експлуатаційної надійності ЕМС з АД з використанням методів діагностування в режимі їх функціонування в наш час є актуальним.

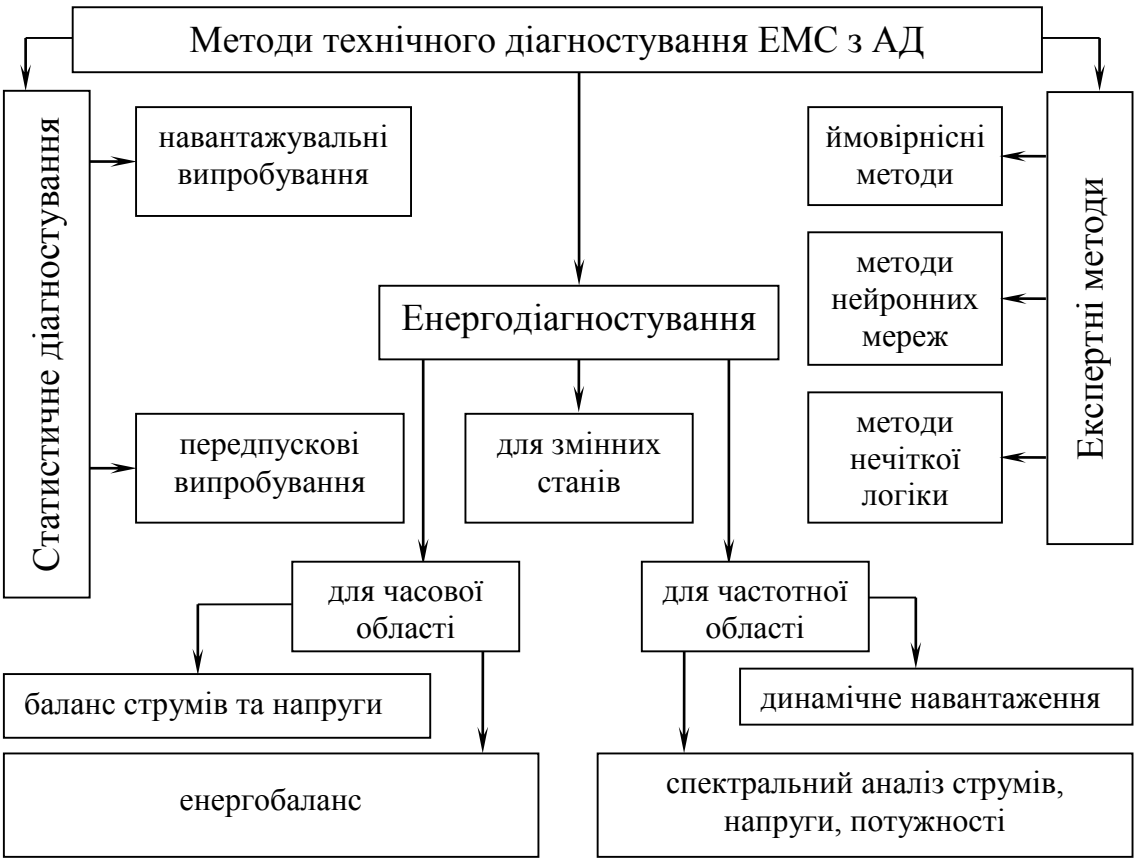



Рис. 1. Узагальнена класифікація методів технічного діагностування ЕМС з АД

Відомо, що найчастіше пошкоджуються обмотки статора та ротора АД. Збільшення струму АД за номінальне значення, є параметром діагностування теплового процесу, оскільки величина струму визначає втрати активної потужності в обмотках, які, в свою чергу, є причиною нагрівання провідників обмотки. Згідно [3…5] тривале перевантаження за струмом виникає через асиметрію напруги живлення та її відхилення, а також при навантажувальних режимах. Короткочасні перевантаження за струмом пов’язані з пусковими режимами.

Підвищення струму понад допустиме значення не відразу призводить до аварійного стану. Навіть з перевантаженням деякий час АД може працювати, поки перевищення температури його обмотки над температурою навколишнього середовища не досягне допустимого значення, перш ніж статор і ротор нагріються до граничної температури, тому немає необхідності в тому, щоб захист реагував на кожне перевищення струму. Він повинен відключати машину тільки в тих випадках, коли виникає небезпека швидкого зносу ізоляції. На час допустимої роботи АД впливають конструктивні параметри електродвигуна, а саме –

еквівалентна постійна часу нагрівання, коефіцієнту втрат, клас ізоляційної конструкції, а також залежить від режимних параметрів – температури навколишнього середовища, початкового перевищення температури обмотки та квадрату кратності струму.

Залежно від теплового стану АД і навколишнього середовища ступінь їх впливу може бути різною: якщо різниця температур електродвигуна і навколишнього середовища невелика, а енергія, що виділяється, значна, то її основна частина поглинається обмоткою, сталлю статора і ротора, корпусом та іншими його частинами: виникає інтенсивне зростання температури ізоляції, а по мірі нагрівання все більше проявляється вплив тепловіддачі. Збільшення температури ізоляції обмоток є причиною старіння ізоляції обмоток статора, що сприяє появі таких відмов, як міжфазні короткі замикання та виткові замикання [4, 6].

З точки зору нагріву ізоляції велике значення мають величина і тривалість протікання струмів, що перевищують номінальне значення. Ці параметри залежать, насамперед, від характеру технологічного процесу [2, 3]. Зазначені обставини зумовлюють необхідність підвищення вимог щодо експлуатації АД з урахуванням їх реальних індивідуальних характеристик і параметрів, які можуть змінитися в процесі роботи або під час ремонту, впровадження нових підходів до принципів побудови пристроїв захисту АД, та удосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів для системи діагностування та захисту АД.

Враховуючи вище наведені міркування, пропонується алгоритм функціонування системи діагностування та захисту на базі контролю струму статора з використанням перевантажувальної характеристики АД (рис. 2), який складається з наступних етапів [7]:

– етап 1 – початок алгоритмізації функціонування системи на базі контролю струму статора;

– етап 2 – введення масиву даних, що характеризують паспортні та конструктивні параметри АД: споживана номінальна активна потужність $P_{2н}$, *кВт*; номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_H$; номінальний коефіцієнт потужності $cos\varphi_H$; $m_1$ та $m_2$ – відповідно маса обмотки та сталі, *кг*; $c_1$та $c_2$ – відповідно питома теплоємність міді та сталі, *Дж/кг·*$^0C$; $\tau_1$ та $\tau_2$ – відповідно номінальне перевищення температури міді та сталі, $^0C$; номінальний струм $I_{ндв}$, А; $\gamma$ – коефіцієнт втрат активної потужності в обмотці ротора; активний опір однієї фази обмотки статора$r_{1н}$, *Ом*;

– етап 3 – аналітичне визначення величини середньоквадратичного значення сили струму за вимірюваними фазних струмів первинними вимірювальними перетворювачами ПВП фази А ПВП фази С;

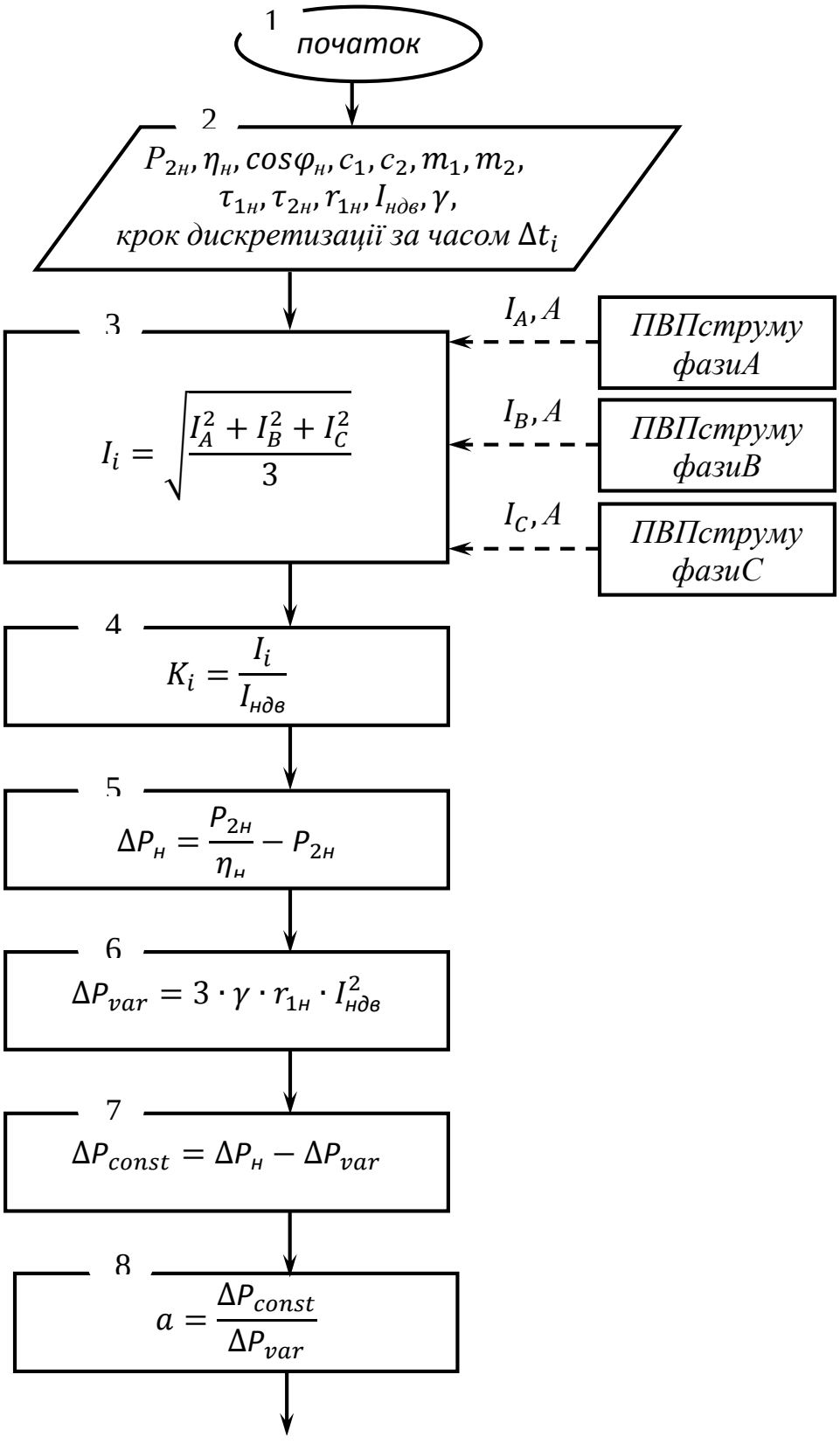



Рис. 2. Алгоритм функціонування системи діагностування та захисту АД

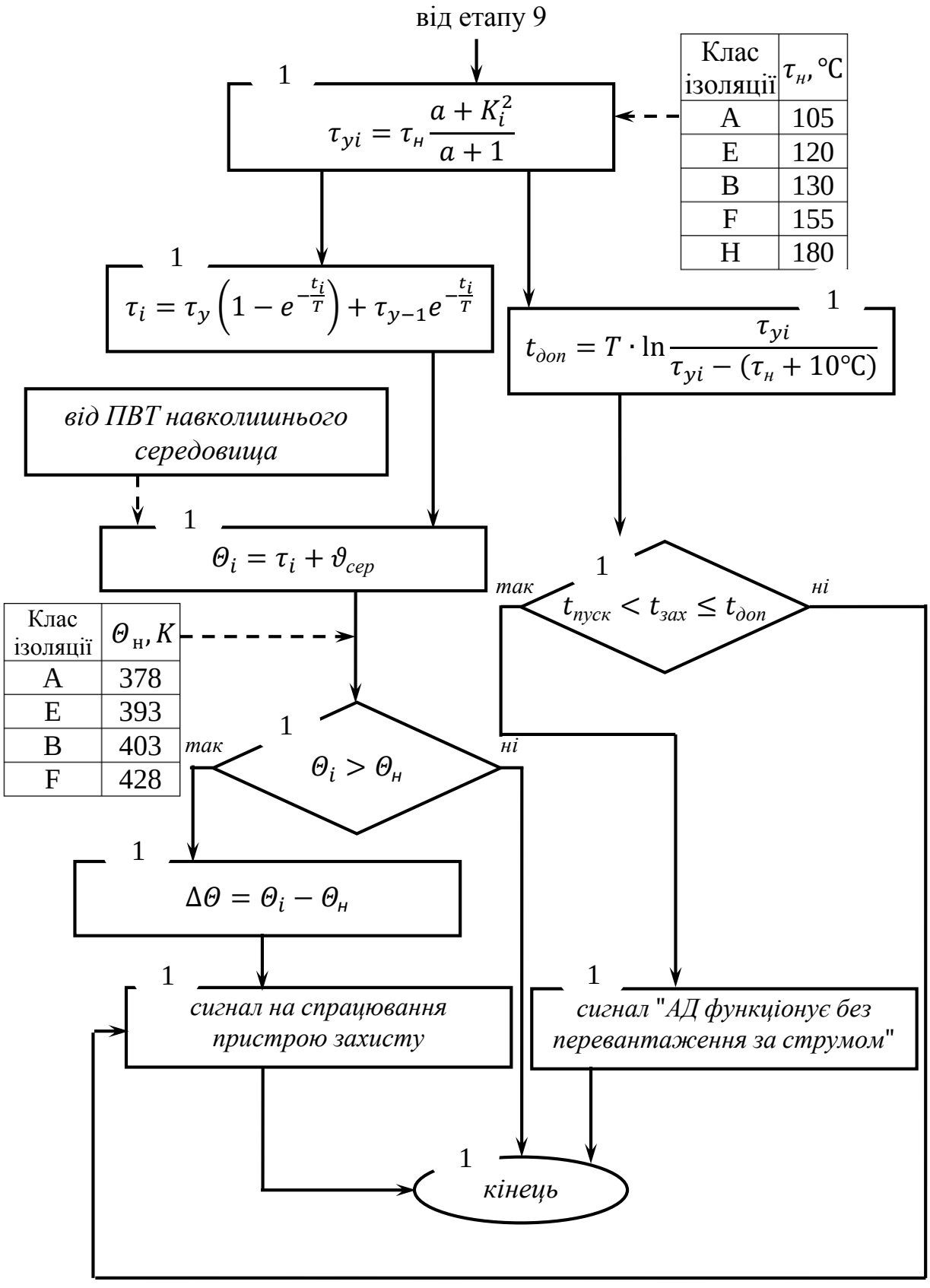



Рис. 2. Алгоритм функціонування системи діагностування та захисту АД

– етап 4 – аналітичне визначення величини кратності струму по відношенню до номінального значення $K_i$;
– етап 5 – аналітичне визначення величини номінальних втрат $\Delta P_H$, *кВт*;
– етап 6 – аналітичне визначення величини змінних втрат $\Delta P_{var}$, *кВт*;
– етап 7 – аналітичне визначення величини постійних втрат $\Delta P_{const}$, *кВт*;
– етап 8 – аналітичне визначення величини коефіцієнту втрат $a$;
– етап 9 – аналітичне визначення величини постійної часу нагріванняТ, *с*;
– етап 10 – аналітичне визначення усталеного перевищення температури обмотки $\tau_{yi}$, *с*, з урахуванням класу ізоляції АД;
– етап 11 – аналітичне визначення перевищення температури обмотки $\tau_i$, *с*;
– етап 12 – аналітичне визначення величини фактичної температури обмотки АД $\Theta_i$, $^0C$, з урахуванням температури навколишнього середовища $\vartheta_{сер}$;
– етап 13 – порівняння величини фактичної температури обмотки $\Theta_i$, $^0C$, з номінальною фактичною температурою обмотки $\Theta_H$, $^0C$, з урахуванням класу ізоляції АД;
– етап 14 – аналітичне визначення зміни фактичної температури обмотки $\Delta\ \Theta_H$, $^0C$;
– етап 15 – формування в мікропроцесорі електричного сигналу на спрацювання блоку захисту АД;
– етап 16 – аналітичне визначення величини допустимого часу роботи АД з перевантаження $t_{доп}$, *с*;
– етап 17 – відлік часу роботи блоку захисту АД $t_{зах}$ та порівняння з часом пуску $t_{пуск}$і допустимим часом роботи з перевантаження $t_{доп}$, *с*;
– етап 18 – формування в мікропроцесорі електричного сигналу про роботу АД без перевантаження;
– етап 19 – завершення алгоритму.

З метою практичної реалізації розробленого алгоритму на базі контролю струму статораздійснений розрахунок перевантажувальних характеристик $k_i=f(t_{доп})$ для АД серій АІР100L4У3 та АІР63В4У3.

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблиці 1.

Результати розрахунків величин згідно етапів алгоритму для побудови перевантажувальної характеристики наведені в таблиці 2.

В таблиці 3 наведені результати розрахунків величин для побудови перевантажувальних характеристик електродвигунів.

Таблиця 1

**Вихідні дані для розрахунків**

| Найменування даних | Величина | |
|---|---|---|
| Тип електродвигуна | AIP100L4У3 | AIP63B4У3 |
| Номінальна потужність $P_H$, кВт | 4,0 | 0,37 |
| Номінальний струм $I_H$,А | 8,5 | 1,18 |
| Номінальний коефіцієнт корисної дії $\eta_н$ | 85,0 | 68 |
| Номінальний коефіцієнт потужності $cos\varphi_н$ | 0,84 | 0,70 |
| Клас ізоляції | B | B |
| Маса міді $m_1$,кг | 3,39 | 0,61 |
| Маса сталі $m_2$, кг | 25,61 | 4,99 |
| Номінальне перевищення температури обмотки$\tau_{1H}$, ºС | 90 | 90 |
| Опір обмотки при температурі 20 ºС $r_{20}$,Ом | 1,27 | 21,5 |

Таблиця 2

**Результати розрахунків**

| Показник згідно етапів алгоритму | Тип електродвигуна | |
|---|---|---|
| | AIP100L4У3 | AIP63B4У3 |
| $\Delta P_н$, Вт | 705,9 | 174,12 |
| $\Delta P_{const}$, Вт | 320,9 | 42,64 |
| $\Delta P_{var}$, Вт | 402,9 | 131,48 |
| Коефіцієнт втрат, $a$ | 0,75 | 0,32 |
| Постійна часу нагрівання, $T$ , с | 1272,6 | 995,34 |

Таблиця 3

**Результати розрахунків**

| $k$ | 1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 1,6 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Асинхронний електродвигун AIP100L4У3 | | | | | | | |
| $\tau_{уст}$, °С | 90 | 100,8 | 112,6 | 125,5 | 139,3 | 154,2 | 170,2 |
| $t_{доп}$, с | ∞ | 5122,76 | 2690,04 | 1979,14 | 1578,41 | 1307,35 | 1109,07 |
| Асинхронний електродвигун AIP63B4У3 | | | | | | | |
| $\tau_{уст}$, °С | 90 | 104,27 | 119,9 | 136,89 | 155,24 | 174,95 | 196,02 |
| $t_{доп}$, с | ∞ | 2970,69 | 1738,77 | 1278,51 | 1010,61 | 830,54 | 700,02 |

На рис. 3 наведені перевантажувальні характеристики $t_{доп} = f(K_i)$ досліджуваних електродвигунів.

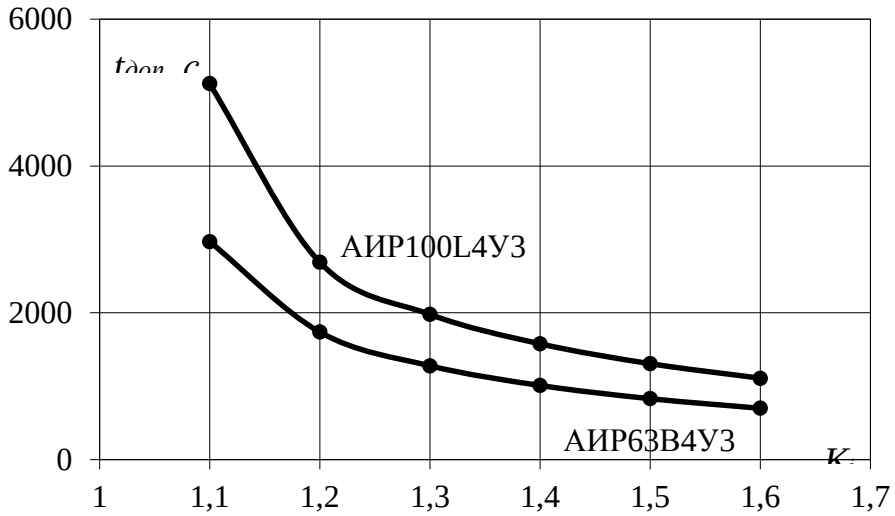



Рис. 3. Перевантажувальні характеристики АД

Після апроксимації отриманих графічних залежностей допустимого часу роботи електродвигуна з перевантаженням можна оперувати математичними рівняннями, які можуть бути покладені в основу роботи системи моніторингу та захисту роботи АД з використанням мікропроцесорної техніки.

В таблиці 4 наведені чисельні значення коефіцієнтів отриманих математичних рівнянь, які описують перевантажувальні характеристики електродвигунів.

Таблиця 4

**Чисельні значення коефіцієнтів математичних рівнянь**

| Тип електродвигуна | Коефіцієнти в математичних рівняннях $t_{доп} = ak_i^2 - bk_i + c$ | | |
|---|---|---|---|
| | *a* | *b* | *c* |
| АІР100L4У3 | 23098 | 69399 | 53217 |
| АІР63В4У3 | 11830 | 36041 | 28171 |

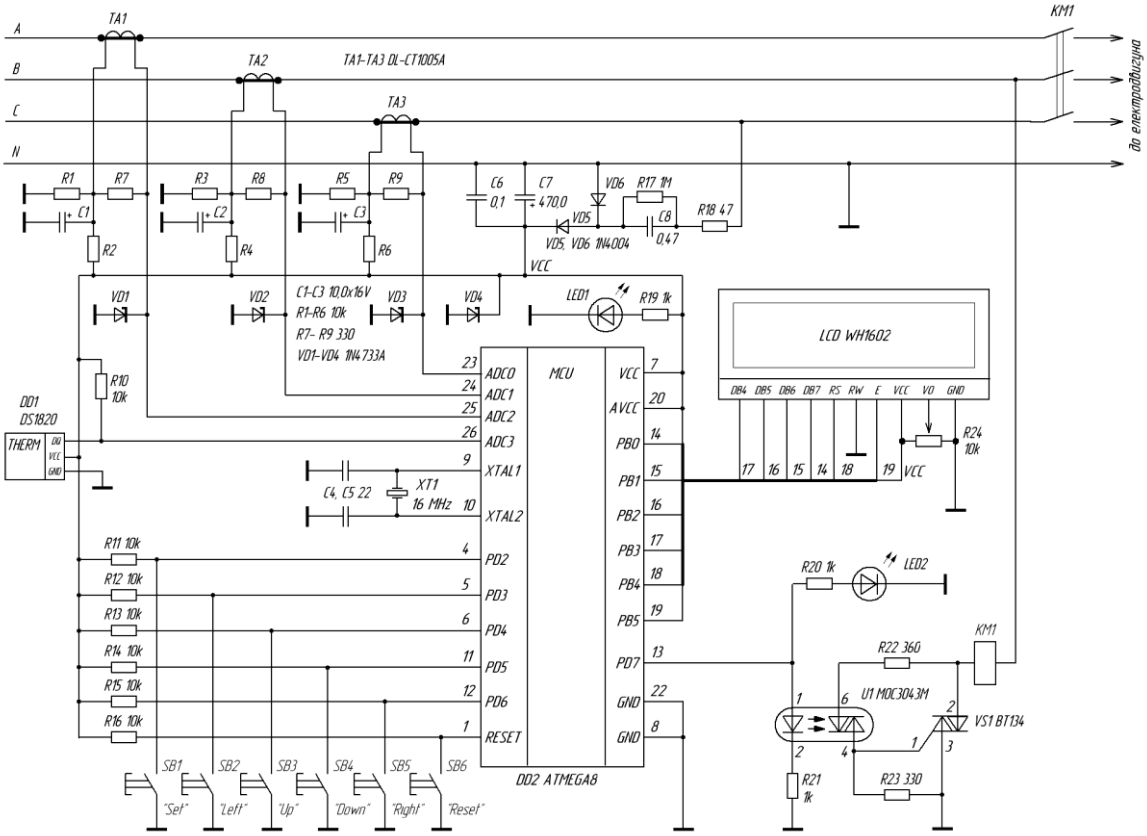



Рис. 4. Принципова електрична схема системи діагностування та захисту АД

Принципова електрична схема, яка реалізує описаний вище алгоритм функціонування системи діагностування та захисту АД приведена на рисунку 4.

**Висновки.** Під час захисту АД від перевантаження за допомогою контролю середньоквадратичного значення сили струму статора у якості часо-струмової характеристики застосовується перевантажувальна характеристика певного АД.

Визначення коефіцієнтів математичних рівнянь, які описують перевантажувальні характеристики електродвигунів, дозволяють в чисельному вигляді обґрунтовувати значення уставок спрацювання технічного пристрою моніторингу та захисту роботи АД.

**Список використаних джерел**

1. *Тюков В. А.* Электромеханические системы: учебн. пособие. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. 137 с.

2. *Матвейкин В. Г., Дмитриевский Б. С., Д. М. Шпрехер Д. М.* Системы управления и диагностирования электромеханических объектов: монография. Тамбов: ТГТУ, 2016. 160 с.

3. *Гольдберг О. Д., Хелемская С. П.* Надежность электрических машин: учебник / под ред. О. Д. Гольдберга. Москва: Академия, 2010. 288 с.

4. *Овчаров В. В.* Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев, 1990. 168 с.

5. *Закладний О.О.* Захист як одне із завдань системи моніторингу енергетичного стану асинхронного електроприводу. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського*. 2010. № 4 (63), ч. 2. С. 135-138.

6. *Халіман Л. Г., Братусь О. О, Нестерчук Д. М.* Систематизація та аналіз методів прогнозування технічних станів електромеханічних систем. *Збірник тез Всеукраїнської науково-технічна конференція магістрантів і студентів ТДАТУ (м. Мелітополь, 19-23 листопада 2018 р.)*. Мелітополь, 2018. С. 66.

7. *Нестерчук Д. М., Рижков А. О.* Алгоритмізація для функціонування системи діагностування та захисту низьковольтних асинхронних електродвигунів з короткозамкненим ротором. *Праці ТДАТУ*. Вип. 15, т. 2. Мелітополь, 2015. С. 274-280.

# ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ПО ТОКУ, КАК МЕТОД ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ

**Нестерчук Д. Н., Курашкин С. Ф.**

***Аннотация*** - рассмотрена возможность усовершенствования методологии диагностирования по току электромеханической системы (ЭМС) с асинхронными электродвигателями (АД). Обосновано, что внедрение надежной и эффективной системы диагностирования и защиты АД от аварийных режимов работы позволит уменьшить количество и частоту аварийных ситуаций, увеличить срок службы электродвигателей и повысить их эксплуатационную надежность, так как наибольшую эффективность обеспечивает диагностирование в режиме функционирования по определению дефектов на ранних стадиях развития. Проанализированы существующие методы технического диагностирования асинхронных электродвигателей, как главной составляющейэлектромеханической системы. Сформулированы основные задачи диагностирования электромеханической системы с асинхрон-

ными электродвигателями. Приведена структура алгоритма функционирования системы диагностированияи защиты. Практическая реализация предложенного алгоритма выполнена на базе контроля токов статора электродвигателя с использованием его перегрузочной характеристики. Следует отметить практическую значимость определения коэффициентов математических уравнений, которые описывают перегрузочные характеристики разных типов асинхронных электродвигателей серии АИР, что позволяет в численном виде обосновать значения уставок срабатывания технического устройства мониторинга и защиты работы АД. Предложена принципиальная электрическая схема, реализующая описанный выше алгоритм функционирования системы диагностирования и защиты АД.

***Ключевые слова:*** надежность, электромеханическая система, асинхронный электродвигатель, диагностирования, защита, алгоритм функционирования, эксплуатационный режим, перегрузка, допустимое время работы.

# DIAGNOSIS BY THE CURRENT AS A PROTECTION METHOD OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS

**D. Nesterchuk, S. Kurashkin**

**Summary**

The possibility of improving the methodology of diagnosing electromechanical system by the current with asynchronous electric motors is considered. It is grounded that the introduction of a reliable and effective system for diagnosing and protecting induction motors from abnormal modes of operation will reduce the number and timing of emergency situations, extend the electric motors' service life and improve their operational reliability, since the greatest effectiveness ensures diagnosis in the mode of operation with definition of defects in the early stages of development. The existing methods of technical diagnostics of asynchronous electric motors, as the main component of the electromechanical system, are analyzed. The main tasks of diagnosing an electromechanical system with asynchronous electric motors are formulated. The structure of the algorithm for the operation and protection system is presented. The proposed algorithm practical realization is performed on the basis of the electric motor stator current control with using its overloading characteristic. It should be noted the practical significance of determining the mathematical equations' coefficients that describe the overloading characteristics of different types of AIR series asynchronous motors, which allows to justify in numerical form the settings values of the technical devices for monitoring and protecting the induction motors' operation mode. The electric circuit which implements the algorithm of diagnosing system and protecting described above is proposed.

**Key words:** reliability, electromechanical system, asynchronous electric motor, diagnostics, protection, algorithm of operation, operating mode, overload, permissible working time.

**УДК 631.53.027.33:633.854.78 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-31**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВИСОКОВОЛЬТНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ НА БІОЛОГІЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ

**Стьопін Ю. О., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-2248-0573**
**Гулевський В. Б., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0003-1434-9724**
**Борохов І. В., к. т. н.** **https://orcid.org/0000-0003-3894-5256**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: v_gul@meta.ua

***Анотація*** – робота присвячена питанням передпосівної обробки насіння соняшнику постійно не однорідним електричним полем високої напруги. Розроблено структурну та електрична схеми експериментальної установки. Наведено результати обробки електричним полем високої напруги насіння соняшнику. Побудовано графічні залежності.

***Ключові слова*:** електромагнітна обробка, схожість, напруженість електромагнітного поля, тривалість обробки, електричне поле високої напруги.

**Постановка проблеми.** Прогресивна технологія отримання сільськогосподарської продукції повинна передбачати економію матеріальних і трудових витрат при високій стабільності одержуваних результатів і збереженні єдиного узгодженого в усіх ланках виробничого циклу. Особливої уваги потребують технологічні прийоми обробки насіння і посадкового матеріалу зі стану спокою для отримання більш ранніх, дружних і вирівняних сходів, що закладають основу збільшення врожаю, отримання ранньої і високоякісної сільськогосподарської продукції.

Результати багаторічних наукових досліджень і виробничих випробувань показують, що для досягнення цієї мети можуть бути з успіхом використані фізичні фактори і, в першу чергу, електричні і магнітні поля.

**Аналіз останніх досліджень.** Під дією електромагнітного поля відбувається мобілізація сил і вивільнення енергетичних резервів насіння, активізуються фізіолого-біохімічні процеси на ранніх етапах проростання насіння, що призводить до збільшення енергії проростання, схожості, весняно-річної виживаності насіння, прискоренню темпів початкового росту рослин, інтенсивності корнеутворення і кущіння, які сприятливо впливають на врожайність [1, 2].

© Стьопін Ю. О., Гулевський В. Б., Борохов І. В.

Ефективність виробництва продукції рослинництва значною мірою визначається наявністю високоякісного посівного матеріалу і збереженням продукції в процесі зберігання і переробки. В силу ряду об'єктивних обставин, таких як наявність природних шкідників і хвороб рослин, стан фізіологічного спокою насіння і таке інше, сільгоспвиробник змушений проводити всілякі технологічні операції передпосівного обробітку і стимуляції насіння. При цьому існуючі традиційні методи і технологічні прийоми передпосівної стимуляції насіння, засновані на застосуванні високо токсичних хімічних препаратів і використанні гідротермічної обробки, пов'язані з великими витратами праці, низькою технологічністю процесу обробки насіння і заподіянням шкоди навколишньому середовищу і обслуговуючому персоналу. Передпосівна обробка насіння електромагнітним полем позбавлена цих недоліків.

Найбільш ефективними з досягнутих результатів є процеси прямого впливу електричної енергії, зосередженої в електричному полі на матеріали, оброблені без проміжних енергетичних перетворень і, отже, без додаткових втрат.

Для матеріалів, які мають строгі обмеження на хімічні і температурні ефекти, активація можлива при впливі низькотемпературних нерівноважних електричних розрядів, таких як коронний, бар'єрний, факельного виду і тліючий, в різних газах, головним чином в повітрі,

Ефект, створюваний цими методами обробки, залежить від багатьох чинників, серед яких якість оброблюваного насіння, час обробки перед посівом в грунт та інші зовнішні чинники. Результати досліджень, проведених вченими, показують, що реакція насіння на той же самий фактор, що впливає на обробку, може мати різний ефект [9,10].

Обробка в високовольтному електричному полі постійного струму пов'язана з впливом на клітинні мембрани. Вплив диполя стимулює ці зміни в мембранах, підсилює діяльність ферментів. Крім того, встановлено іншими авторами, що в результаті такої обробки в насінні відбувається ряд процесів, що призводить до підвищення проникності насіннєвих оболонок, прискорюється надходження води і кисню в насіння. В результаті посилюється ферментативна активність, перш за все, гідролітичних і окисно-відновних ферментів. Це забезпечує більш швидке і повне надходження поживних речовин до зародка, прискорення темпу клітинного ділення і активізацію ростових процесів в цілому. У рослин, що виросли з обробленого насіння, більш інтенсивно розвивається коренева система і прискорюється перехід до фотосинтезу, тобто створюється міцний

фундамент для подальшого зростання і розвитку рослин. Все це сприяє вегетативному процесу, прискорює його зростання.

Однак, при обробці насіння таким способом важко визначити оптимальну напруженість поля для насіння різних сільськогосподарських культур, тому критерій для оцінки ефективності передпосівної обробки повинен не тільки давати можливість оцінити ефективність різних впливів на насіння, а й по можливості отримувати ці дані в короткі терміни. У таких випадках в якості приблизної величини може бути взята врожайність якоїсь відомої культури або середню врожайності по якійсь групі культур.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є експериментальне підтвердження позитивного впливу електричного поля високовольтного постійного струму на швидкість і ступінь проростання насіння рослин. При цьому очікується збільшення врожайності сільськогосподарських культур шляхом раціонального використання земель, що обробляються і виробництва екологічно чистих продуктів.

**Основна частина.** Для дослідження було обрано соняшник, як найбільш поширену технічну культуру в Україні. Так як вимоги соняшнику до клімату, особливо до температури, високі, то при пророщуванні необхідно враховувати температурні умови, знати при якій температурі проростає те чи інше насіння. Ф. Габерландт вивчив найнижчі (8…9 °С), оптимальну (28 °С) і максимальну (35 °С) температури, при яких можна спостерігати проростання насіння соняшнику з найбільшою швидкістю. Таким чином, при обробці насіння в електричному полі високої напруги постійного струму необхідно контролювати температуру нагрівання насіння [2, 4].

Для доказу позитивного впливу високовольтного електричного поля на зростання насіння культурних рослин була розроблена експериментальна установка, структурна схема якої показана на рис 1. Установка складається з регульованого блоку живлення промислової частоти (діапазон регулювання від 0…240В), вимірювального блоку (контроль напруги, струму та потужності), блоку високої напруги постійного струму (до 6кВ), вимірювального блоку, камери для обробки насіння високовольтним електричним полем (камера для опромінення).

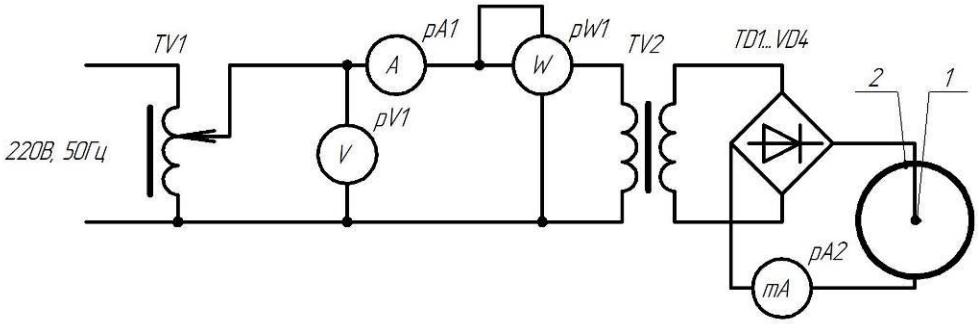
На основі структурної схеми було розроблено схему електричну принципову експериментальної установки (рис. 2). Джерело живлення містить в собі автотрансформатор TV1, високовольтний трансформатор TV2 з коефіцієнтом трансформації k = 45, випрямляч VD1…VD4. Максимальна напруженість електричного поля буде біля стрижневого електроду. Камера для опромінення представляє собою систему двох електродів у вигляді кільця та центрального електроду у

вигляді стрижня (рис. 3), розташованих на плоскій діелектричній основі, на якій знаходиться опромінюваний матеріал.




1– регульований блок живлення промислової частоти; 2 – вимірювальний блок; 3 – блок високої напруги постійного струму; 4 – вимірювальний блок; 5 – камера для опромінення.

Рис. 1. Структурна схема експериментальної установки




1 – стрижневий електрод; 2 – кільцевий електрод.

Рис. 2. Схема електрична принципова експериментальної установки



Рис. 3. Камера для обробки насіння високовольтним електричним полем

На першому етапі дослідження були обрані ідентичні насіння соняшнику. Вагу насіння визначали за формулою

$$m = V \cdot \rho = \frac{\pi}{6} a \cdot b^2 \cdot \rho \quad , \qquad (1)$$

де $\rho$ – щільність насіння, кг/м$^3$;

$a$, $b$ - ширина і довжина, м.

При розміщенні в камері для опромінення у всьому обсязі зернової маси, яка являє собою гетерогенну систему (насіння - повітря), починають відбуватися іонізаційні процеси [5, 6]. Напруженість поля всередині еліпсоїдальної частинки буде дорівнювати

$$E = \frac{E_o}{1 + \Phi_1(\varepsilon - 1)}, \qquad (2)$$

де $E_0$ – напруженість зовнішнього поля, В/м;

$\Phi_1$ – коефіцієнт деполяризації, який залежить від форми частинки, тобто від відношення малої осі еліпсоїда до його більшої осі.

Насіння, підготовлене для дослідження, не піддавалося хімічним і термічним впливам. Температура навколишнього середовища під час проростання насіння також не враховувалася.

Обробка насіння проводилася з інтервалами: 10 хвилин, 20 хвилин. Кількість обробленого насіння в партії складала 100 шт для кожного експерименту. Температура зерна, під час опромінення, не перевищувала допустимих значень, при яких можна було спостерігати біологічне руйнування клітинної структури насіння.

В результаті обробки зерно піддавалось впливу як хімічних продуктів іонізації (хімічно активного озону, так і оксидів азоту) і електричних розрядів. При проходженні струмів провідності і струмів розряду в масі насіння виділяється тепло. Струм розряду залежить від наявності вільних зарядів у повітряному зазорі і провідного пилу на поверхні насіння.

Залежність температури нагрівання насіння соняшнику від часу обробки при максимальній напруженості поля представлено на рис. 3

Для посадки насіння кожної партії було виділено земельну ділянку 2,4×5 м, схема посадки представлена на рис. 4. Було висаджено три ділянки з 20 хвилинною, 10 хвилинною обробкою та необроблені насіння, по дві насінини в лунці.

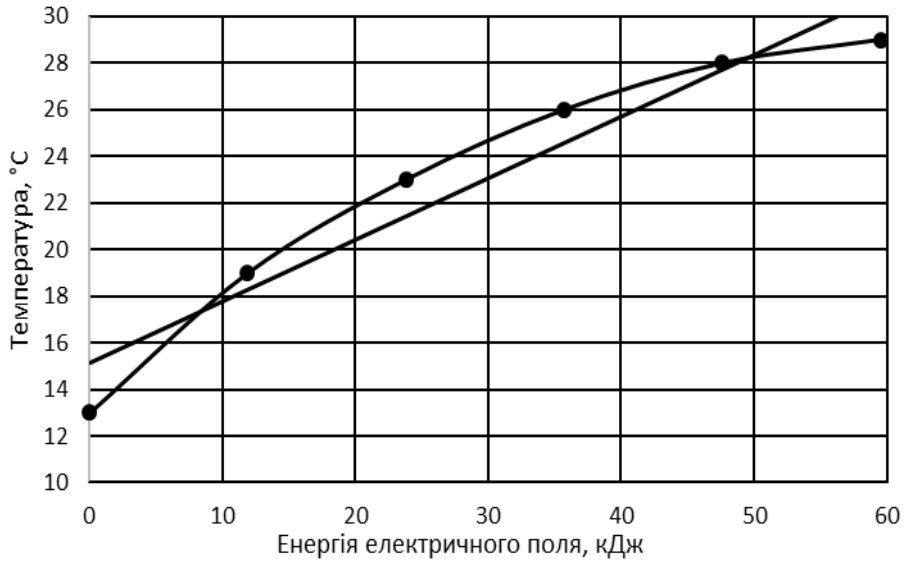



Рис. 3. Залежність температури нагріву насіння соняшнику від отриманої ним енергії

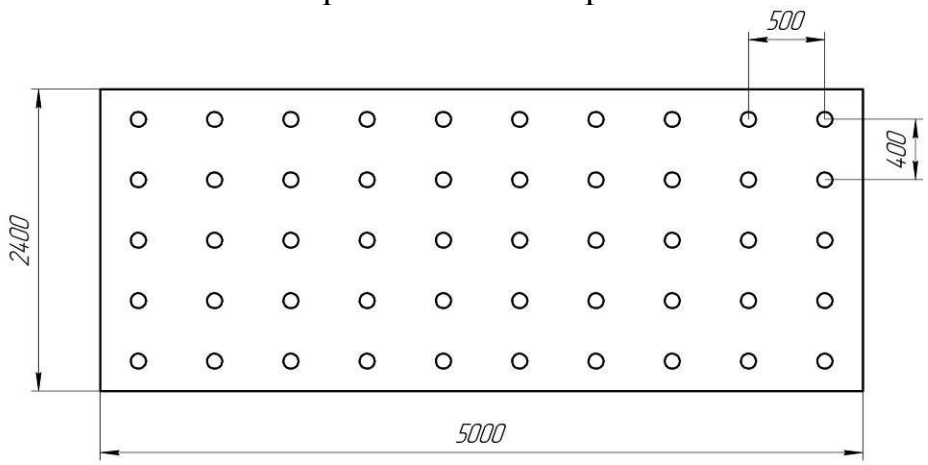



Рис. 4. Схема висадки насіння

Загальна кількість пророщеного насіння в залежності від часу обробки виражено у відсотках і представлено в табл. 1.

Таблиця 1

**Схожість насіння соняшника**

| Тривалість обробки, хв | Схожість, % | Кінцева температура насіння, °С |
|---|---|---|
| 0 | 82 | 13 |
| 10 | 90 | 24 |
| 20 | 80 | 29 |

**Висновки**. Це експериментальне дослідження має велике практичне значення, оскільки впровадження нових технологій в умовах Запорізької області дозволяє прогнозувати вихід і

покращувати якість культурних рослин. Проведені дослідження показали, що обробка електричним полем високої напруги позитивно впливає на швидкість і ступінь проростання насіння соняшника. Така стимуляція насіннєвого матеріалу при температурі впливу до 35°С дозволяє підвищити біологічну активність насіння, не пошкоджуючи тканину і структуру продукту. З цього робимо висновок, що електрична стимуляція прискорює проростання насіння при тривалості обробки 10 хв. Проте, в цій області потрібно більше досліджень. Тепер результати будуть оцінюватися протягом вегетаційного періоду на стадії зростання до переходу в фазу цвітіння та врожайність.

**Список використаних джерел**

1. *Корко В. С., Городецкая Е. А.* Электрофизические методы стимуляции растительных объектов. Минск : БГАТУ, 2013. – 232 с.

2. *Косулина Н. Г., Аврунин О. Г., Чёрная М. А.* Анализ проблем предпосевной обработки семян на основе электромагнитных технологий. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2013. Вип. 141. С. 93-94.

3. *Наумов Г. Ф., Носова Л. Ф.* Биологическая стимуляция семян подсолнечника как приём улучшения их посевных качеств и урожайности. *Селекция и семеноводство*. 1984. Вып. 56. С. 89- 93

4. *Конторина И. С., Рубцова Е. И.* Предпосевная обработка семян сельскохозяйственных культур экологически чистым способом (импульсным электрическим полем). *Современные наукоемкие технологии*. 2013. № 8-2. С. 203-205.

5. *Шмигель В. Н., Рахманин В. Г.* Определение напряженности поля внутри зернового слоя. *Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства*. 1966. № 2. С. 30-32.

6. *Гулевский В. Б., Постол Ю. А., Дудина М. П.* Влияние электротехнологических методов при электробиостимуляции растений. *Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК* : материалы Междунар. науч.-техн. конф. / БГАТУ. Минск, 2017. С. 187-189.

7. *Куценко Ю. Н., Пиротти А. Е., Пиротти Е. Л.* Моделирование стационарного электрического поля, взаимодействующего с семенами и корневой системой сельскохозяйственных культур в грунте. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит*. 2011. № 5. С. 66-69.

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ НА БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕМЯН ПОДСОЛНУХА

**Степин Ю. А., Гулевский В. Б., Борохов И. В.**

***Аннотация*** – работа посвящена вопросам предпосевной обработке семян подсолнуха постоянным не однородным электрическим полем высокого напряжения. Разработана структурная и электрическая схемы экспериментальной установки. Приведены результаты обработки электрическим полем высокого напряжения семян подсолнуха. Построены графические зависимости.

***Ключевые слова:*** электромагнитная обработка, всхожесть, напряжённость электромагнитного поля, длительность обработки, электрическое поле высокого напряжения.

# INVESTIGATION OF THE EFFECT OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC FIELD ON BIOLOGICAL PRODUCTIVITY OF SUNFLOWER SEEDS

**Yu. Stopin, V. Hulevskyi, I. Borokhov**

***Summary***

The efficiency of crop production depends to a large extent on the quality of the seed. The results of years of scientific research and production testing show that physical factors and, first and foremost, electric and magnetic fields can be used to achieve this. This paper analyzes recent research in the field of processing the influence of high-voltage electric field on biological productivity of seed material. To prove the positive effect of high-voltage electric field on seed growth of cultivated plants, an experimental setup was developed. Sunflower seeds are to be treated with a constant, non-homogeneous, high voltage electric field. The purpose of the study is to experimentally confirm the positive effect of the electric direct high-voltage DC field on the speed and degree of germination of plant seeds.

The article presents a block diagram and a schematic diagram of the electrical experimental setup. The design of the radiation chamber is presented. The technique of conducting a seed treatment experiment with an electromagnetic field is described. The duration of irradiation of sunflower seeds was: the first group - ten minutes; the second group - twenty minutes. The results of the experiment are given. Graphical dependences of the temperature of heating of sunflower seeds on the energy received by him were constructed. Seeds of the first, second group and untreated seeds were planted. A land plot of 2.4 × 5 m was allocated for planting of each group.

**Keywords:** electromagnetic processing, germination, intensity of the electromagnetic field, duration of treatment, electric field of high-voltage.

**УДК 62-83:[631.362.3:633.1]** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-32**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНООЧИСНОГО АГРЕГАТУ

**Постнікова М. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-2025-6199**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: marina.postnikova@tsatu.edu.ua

***Анотація –*** метою дослідження є комплексний аналіз втрат активної потужності в системі «електродвигун – робоча машина». Сумісний розгляд характеристик електродвигуна і робочої машини допомагає вирішити такі важливі для вибору привода питання як достатня потужність двигуна, можливість зрушення з місця, розгін до номінальної швидкості за заданий період часу. Запропонована диференційована система оцінки втрат активної потужності в системі «електродвигун – робоча машина», яка дозволяє вибирати інтервали завантаження потокових ліній очищення зерна з мінімумом втрат активної енергії.

***Ключові слова:*** енергозбереження, електропривод, економія електроенергії, корисна потужність, втрати потужності.

**Постановка проблеми.** В зерноочисних агрегатах ЗАВ-20, які встановлюються на зерноочисних пунктах, для транспортування зерна від повітряно-решітних машин до трієрних блоків або в бункера чистого зерна застосовуються скребкові транспортери ЗАВ-10.50000. Дослідження економічності роботи електроприводу транспортерів є актуальним завданням.

**Аналіз останніх досліджень.** Електропривод скребкових транспортерів повинен забезпечувати стабільність швидкості обертання приводного вала навіть при значних коливаннях навантаження. Таку вимогу повністю забезпечують асинхронні електродвигуни з нормальною механічною характеристикою. Електропривод є основною базою збереження електроенергії [1-3].

Сучасні вимоги до електроприводу – електродвигун з транспортувальним механізмом сипких матеріалів, полягають в інтенсивному підвищенні динамічних характеристик, забезпеченні мінімізації втрат як в електродвигуні (втрати в обмотках та магнітопроводі), так і в транспортувальному механізмі (втрати через тертя в кінематичних парах) і на цій основі підвищення довговічності та надійності системи в цілому.

Однак, дослідження електроприводу скребкового транспортера в сучасних дослідженнях не проводилось [4].

© Постнікова М. В.

**Формулювання цілей статті.** В роботі поставлена задача дослідити електропривод скребкового транспортера зерноочисного агрегату ЗАВ-20.

**Основні матеріали дослідження.** Скребкові транспортери використовують для переміщення зерна в потоковій лінії очищення зерна. Зерно по жолобу переміщують скребки, які закріплені на кільцевих ланцюгах, які рухаються зі швидкістю 1-2,2 м/с. Привід транспортера має електродвигун, шків на валу електродвигуна, клиновий пас, шків та зірку на ведучому валу.

Існують різні підходи, завдяки яким можна досягти підвищення енергоефективності електричного приводу в АПК. Для цього необхідно розділити енергетичні втрати при роботі на електричні, магнітні, механічні і на кожному етапі намагатись їх зменшувати. Тобто, економію електроенергії можна одержати за рахунок зниження втрат енергії.

Продуктивність скребкового транспортера Q, кг/с, становить [5, 6]

$$Q = К_{\alpha} \cdot \psi \cdot \gamma \cdot B \cdot H \cdot \upsilon \ , \qquad (1)$$

де $К_{\alpha}$ – коефіцієнт, що враховує заповнення скребків залежно від кута нахилу транспортера α, град., до горизонту: для легкосипких вантажів $К_{\alpha} = 1\text{-}0{,}0175 \cdot \alpha$;

$\psi$ – коефіцієнт заповнення, $\psi = 0{,}6\text{-}0{,}8$;

$\gamma$ – об'ємна маса матеріалу, що транспортується, кг/м$^3$, для зерна $\gamma = 450\text{-}750$ кг/м$^3$;

B – ширина скребків, м;

H – висота скребків, м;

$\upsilon$ – швидкість руху скребків, м/с, для зерна $\upsilon = 1\text{-}2{,}2$ м/с.

Активна потужність, що споживається скребковим транспортером визначається за формулою [6]

$$P_{с} = \frac{g \cdot к_{з} \cdot Q_{н} \cdot \left(H + f_{с} \cdot L \cdot \cos\alpha\right)}{\eta_{тр.}}, \qquad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, м/с$^2$;

$к_{з}$ – коефіцієнт завантаження транспортера;

$Q_{н}$ – номінальна продуктивність транспортера, кг/с;

H – висота підйому продукту, м;

$f_{с}$ – коефіцієнт опору руху;

L – довжина транспортера, м;

α – кут нахилу транспортера до обрію, град.;

$\eta_{тр.}$ – коефіцієнт корисної дії транспортера.

Корисна активна потужність, що споживається транспортером [7]

$$P = g \cdot к_з \cdot Q_н \cdot (H + f \cdot L \cdot \cos\alpha) . \quad (3)$$

Втрати активної потужності в скребковому транспортері [7]

$$P_о = \frac{g \cdot к_з \cdot Q_н \cdot (H + f_с \cdot L \cdot \cos\alpha)}{\eta_{тр.}} - g \cdot к_з \cdot Q_н \cdot (H + f_с \cdot L \cdot \cos\alpha). \quad (4)$$

Таким чином, отримана залежність втрат активної потужності в скребковому транспортері в функції продуктивності скребкового транспортера при заданих значеннях висоти підйому продукту, довжини транспортера, кута нахилу транспортера до обрію і номінального коефіцієнта корисної дії транспортера.

Досліджуємо втрати активної потужності в скребковому транспортері типу ЗАВ-10.50000 з приводним електродвигуном типорозміру 4А80В4УПУ3 з номінальною потужністю 1,5 кВт [5].

Розрахункові дані заносимо в таблицю 1 [7].

Таблиця 1

**Розрахункові дані втрат активної потужності**

| $к_з$ | 0,1 | 0,2 | 0,25 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1 | 1,25 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $P_с$, Вт | 132 | 179 | 203 | 227 | 274 | 322 | 370 | 417 | 465 | 512 | 560 | 679 |
| P, Вт | 48 | 95 | 119 | 143 | 190 | 238 | 286 | 333 | 381 | 428 | 476 | 595 |
| $P_о$, Вт | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 | 84 |
| $к_{зед}$ | 0,09 | 0,12 | 0,14 | 0,15 | 0,18 | 0,21 | 0,25 | 0,28 | 0,31 | 0,34 | 0,37 | 0,45 |
| $\Delta P_{ед}$, Вт | 39 | 54 | 61 | 68 | 82 | 96 | 110 | 125 | 139 | 153 | 167 | 203 |
| $\Delta P$, Вт | 123 | 138 | 145 | 152 | 166 | 180 | 194 | 209 | 223 | 237 | 251 | 287 |
| $к_{втрат}$ | 0,94 | 0,77 | 0,71 | 0,66 | 0,6 | 0,56 | 0,53 | 0,5 | 0,48 | 0,46 | 0,44 | 0,42 |
| Q, кг/с | 0,28 | 0,56 | 0,69 | 0,83 | 1,11 | 1,39 | 1,67 | 1,94 | 2,22 | 2,50 | 2,78 | 3,47 |
| $w_{пит.}$, Дж/кг | 444 | 248 | 208 | 182 | 149 | 130 | 117 | 107 | 100 | 95 | 90 | 83 |

На рис. 1 і 2 приведені залежності коефіцієнта втрат активної потужності в системі “електродвигун - робоча машина” в функції активної потужності, що споживається скребковим транспортером і пито-

мих втрат енергії в системі в функції продуктивності скребкового транспортера.

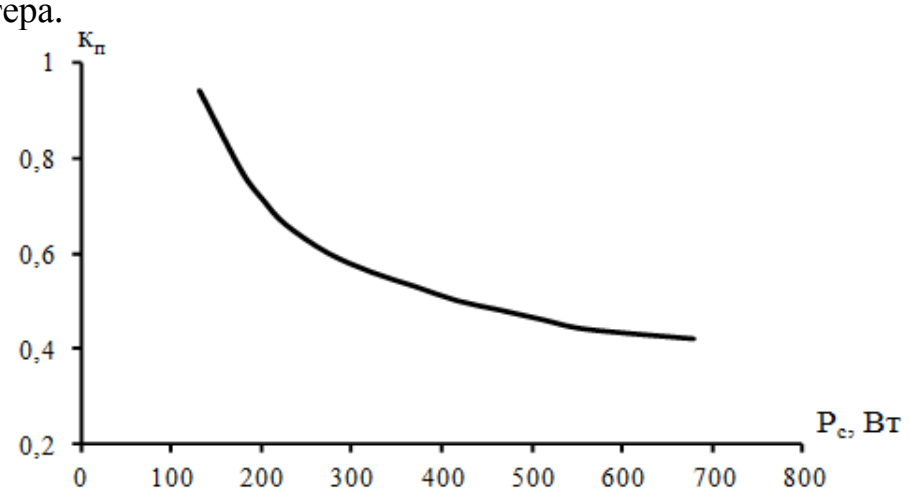



Рис. 1. Залежність коефіцієнта втрат активної потужності в системі електродвигун - робоча машина" в функції активної потужності, спожитої скребковим транспортером

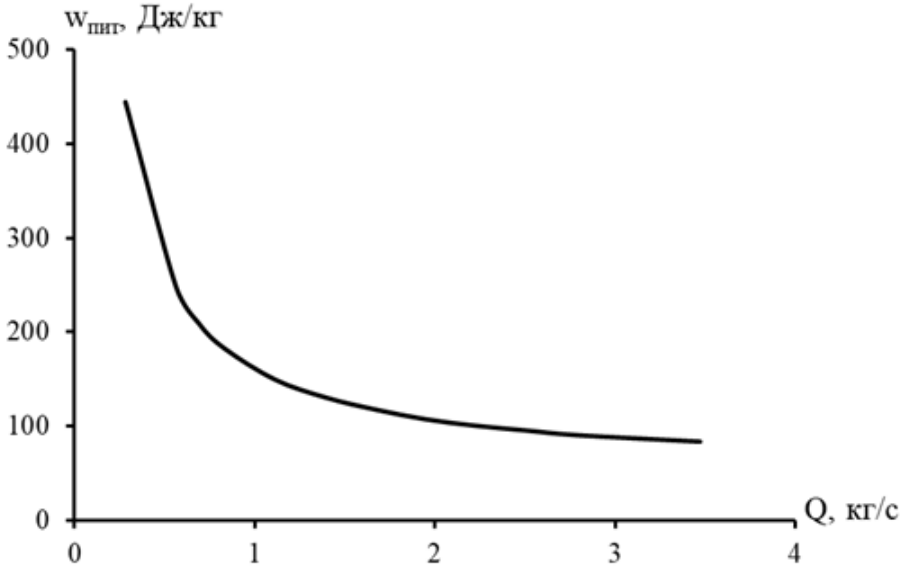



Рис. 2. Залежність питомих втрат енергії в системі "електродвигун - робоча машина" в функції продуктивності скребкового транспортера

**Висновки.**

1. Запропонована диференційована система оцінки споживання активної енергії в системі "електродвигун - робоча машина", яка дозволяє визначити як втрати активної енергії, так і її корисне значення.

2. Вперше в якості критерію оцінки енергозберігаючих режимів роботи електромеханічних систем при обробці зерна запропоновані питомі втрати активної енергії на одиницю продукції з урахуванням фактичного завантаження обладнання, які забезпечують оптимізацію продуктивності робочих машин за мінімумом питомих втрат.

3. Як показують результати дослідження залежності питомих втрат енергії в системі «електродвигун - робоча машина» в функції продуктивності скребкового транспортера мінімум питомих втрат активної енергії $W_{пит.\ мін} = 83$ Дж/кг досягається при Q = 3,47 кг/с. Це дозволяє створити оптимізаційні системи завантаження скребкового транспортера.

**Список використаних джерел**

1. *Корчемний М., Федорейко В., Щербань В.* Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль : Підручники і посібники, 2001. 984 с.

2. *Клепиков В. Б., Розов В. Ю.* О роли электропривода в решении проблемы энергоресурсосбережения в Украине. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Сер. Электротехника, электроника и электропривод*. Харків, 2008. Вып. 30: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. С. 18-21.

3. *Кириленко А. В., Волков И. В.* Энергосберегающий асинхронный электропривод. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут».* Харків, 2008. Вып. 30: Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. С. 22-26.

4. *Постникова М. В., Телюта Р. В.* Исследование потерь активной мощности в системе «электродвигатель - рабочая машина». Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 4. С. 130-134.

5. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А. Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболевская; под. ред. А. Э. Кравчик. Москва: Энергоиздат, 1982. 504 с.

6. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній : підручник / Є. Л. Жулай та ін. ; за ред. Є. Л. Жулая. Київ: Вища освіта, 2001. 288 с.

7. *Постнікова М. В.* Енергозберігаючі режими роботи електромеханічних систем обробки зерна на зернопунктах : автореф. дис… канд. техн. наук. Мелітополь, 2011. 22 с.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СКРЕБКОВОГО ТРАНСПОРТЕРА ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА

**Постникова М. В.**

***Аннотация*** - вопросам потерь активной мощности в современных исследованиях уделяется большое внимание. Однако, отдельно рассматриваются как электродвигатели, так и рабочие машины.

Целью исследований является комплексный анализ потерь активной мощности в системе “электродвигатель - рабочая машина”.

Совместное рассмотрение характеристик электродвигателя и машины помогает решить такие важные для выбора привода вопросы как достаточная мощность двигателя, возможность трогания с места, разгон до номинальной скорости в заданное время и так далее.

Предложена дифференцированная система оценки потерь активной мощности в системе “электродвигатель – рабочая машина”, позволяющая выбирать интервалы загрузки поточных линий очистки зерна с минимумом потерь активной энергии.

***Ключевые слова:*** энергосбережение, электропривод, экономия электроэнергии, полезная мощность, потери мощности.

## THE SCRAPER CONVEYOR’S ELECTRIC DRIVE OF GRAIN CLEANING UNIT RESEARCH

**M. Postnikova**

***Summary***

There are significant losses of active power in induction motors and working machines of production lines of the agro-industrial complex today.

A lot of attention is paid to researches of active power losses. However, induction motors and working machines are considered separately.

The purpose of the research is a comprehensive analysis of active power losses in the system “induction motor - working machine”.

Joint consideration of the induction motors’ and the machines’ characteristics helps to solve such important issues for choosing a drive as sufficient engine power, the possibility of starting, acceleration to the nominal speed at a specified time and so on.

As known, the system “induction motor - working machine” additional to useful active power consumed to perform the required work on the processing of products, there are losses of active power in the driving motor and the working machine.

A differentiated estimating for active power losses in the “induction motor - work machine” system is proposed. It allows to select the grain cleaning production lines loading intervals with active energy losses minimum.

The main power losses in the driven electrical equipment are due to the technological machines’ working processes. Being analyzed, one can get the information about the efficiency of electric energy usage in a particular technological unit and determine the general methods of energy saving in the grain processing. Therefore, to synthesize an electrical energy specific cost mathematical model of the grain processing, it is necessary to analyze the processes of electrical energy conversion in the driven electrical equipment of grain cleaning production lines, as well as more detailed analysis of energy usage when performing technological operations of grain cleaning.

***Keywords:*** energy saving, electric, energy saving, useful power, losses power.

**УДК 66.047.41:634.11** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-33**

# ДОСЛІДЖЕННЯ КОМБІНОВАНОГО ПРОЦЕСУ СУШІННЯ ВИСОКОВОЛОГОЇ ЯБЛУЧНОЇ СИРОВИНИ

**Савойський О. Ю., асп.*** **http://orcid.org/0000-0002-6459-4931**
**Яковлєв В. Ф., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-5261-4432**
**Сіренко В. Ф., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0003-0831-6563**
*Сумський національний аграрний університет*
E-mail: o.savoiskyi@gmail.com
Тел. +380976553778

***Анотація*** - Продовольчий ринок України потребує значної кількості овочевої та фруктової продукції у висушеному стані, найчастіше у вигляді напівфабрикатів для тривалого зберігання або готового продукту для споживанн. Альтернативою теплового видалення вологи є електротехнології при яких екологічно чиста енергія подається в концентрованому вигляді безпосередньо до об'єктів сушіння.

В Сумському НАУ запропонований комбінований спосіб висушування високовологої нарізаної фруктової та овочевої сировини [10], в якому використовується поверхневий конвективний нагрів в поєднанні з підводом енергії по всьому об'єму при безпосередньому пропусканні електричного струму. На першій стадії сушки яблука мають велику кількість вологи у вільному стані, тому для інтенсифікації процесу доцільно використовувати пропускання електричного струму.

Розроблена експериментальна установка для дослідження процесів комбінованого конвективного та електричного сушіння зразків яблук на першій стадії, що представляє сушильну камеру в якій підтримувалась задана температура повітря із діапазону 25-55$^0$С. До висушуваних зразків через гнучкі контакти підводився змінний електричний струм промислової частоти 50 Гц напругою 10-20 В. Через визначені інтервали часу фіксувались: величина струму, маса зразків та їх внутрішня температура. Розрахунковим шляхом були визначений електричний опір та швидкість сушіння об'єктів.

Виміри електричного опору висушуваних зразків яблук показали їх електропровідність до 1/3 від початкової маси. Було встановлено, що внаслідок інтенсивного соковиділення із клітин м'якоті яблука та відповідного зменшення електричного опору рослинного матеріалу в умовах обмеженого відводу водяної пари спостерігається різке зростання величини електричного струму та температури зразків до пікових значень. Водночас збільшувалась і швидкість сушіння до найбільших значень.

Встановлені граничні параметри напруженості до 2-3 В/мм і об'ємної енергонасиченості до 1 Вт/см$^3$ у висушуваному матеріалі при яких температура зразків яблук не перевищує допустимі пікові значення 50-55 $^0$С.

© Савойський О. Ю., Яковлєв В. Ф., Сіренко В. Ф.
*Науковий керівник – Яковлєв В. Ф., к. т. н., професор

При допустимих діапазонах початкових умов енергопідводу встановлене 2-3-х кратне зменшення тривалості першого етапу висушування порівняно із конвективним нагріванням при однакових температурах теплоносіїв.

Аналіз кривих сушки та зміни швидкості процесу виявив відсутність класичного першого періоду сушки із сталою швидкістю вологовидалення, що потребує подальшого дослідження кінетики сушки при комбінованому енергопідводі.

Отримані результати досліджень можуть стати основою для розробки технологічних процесів періодичної сушки нарізаних яблук в апаратах середньої продуктивності.

***Ключові слова:*** яблучна сировина, комбіноване сушіння, криві сушіння, напруга, провідність, прямий електронагрів.

***Постановка проблеми.*** На сьогоднішній день в Україні ринок сухофруктів представлений в основному продукцією іноземного виробництва. Причиною цього є дорога собівартість самого процесу сушіння фруктів, яка знаходиться практично на одному рівні із закупівельними цінами імпортованої продукції.

Фрукти як об'єкт сушіння за структурою являє собою капілярно – пористе тіло, що має високий вміст вологи (до 90%), яку необхідно знизити до рівноважної 15-20%. При цьому, основна маса вологи знаходиться в зв'язаному вигляді всередині клітин [1], що ускладнює процес зневоднення.

***Аналіз останніх досліджень.*** На сьогодні існує велика кількість сушарок різної конфігурації та способами підведення тепла до висушуваного матеріалу [2]. Однак, як показує аналіз, більшість з них енергозатратні, дорого коштують, а іноді і малоефективні.

Виходячи із принципу «Більша концентрація енергії – вища ефективність процесів» все частіше розробники обладнання для термічного зневоднення харчової сировини звертаються до електротехнологій [3]: інфрачервоний нагрів, використання акустичних полів та НВЧ. Але найбільш ефективним є прямий електричний нагрів, коли майже 100% електроенергії використовується на нагрівання.

Електричний нагрів опором завдяки простоті надійності, універсальності та невисокій вартості обладнання використовується в багатьох технологіях. Його особливістю є застосування змінного струму. Не зважаючи на деякі недоліки процес електронагріву все більше досліджується [4].

Сьогодні ряд зарубіжних фірм випускають промислові апарати з використанням прямого електронагріву на переробних заводах із виробництва цільних консервованих фруктів, фрукти в соусах, скибочках і кубиках [5].

В довіднику енергоефективності, випущеному за участю Департаменту аналізу енергетики США, зазначено що в дослідах, проведених в університеті штату Луїзіана, зразки солодкої картоплі (батату) оброблялися прямим електричним нагрівом перед сушінням заморожуванням. Це підвищувало ступінь висушування на 25%. Разом з тим зазначено, що на ефективність процесу впливають такі параметри, як частота змінного струму, напруга, температура, до якої нагрівається робоче середовище і її електропровідність [6].

Використання прямого електричного нагріву в процесах сушіння досліджувалось мало [7, 8, 9]. Тому дане дослідження є актуальним.

***Формулювання цілей статті.*** На основі проведених експериментів дослідити вплив основних технологічних параметрів на процес комбінованого (конвективного в поєднанні з прямим електронагрівом) сушіння яблучної сировини.

***Основна частина.*** Дослідження комбінованого конвективного та електричного сушіння зразків яблук проводилися на експериментальній установці, схема якої зображена на рис.1.

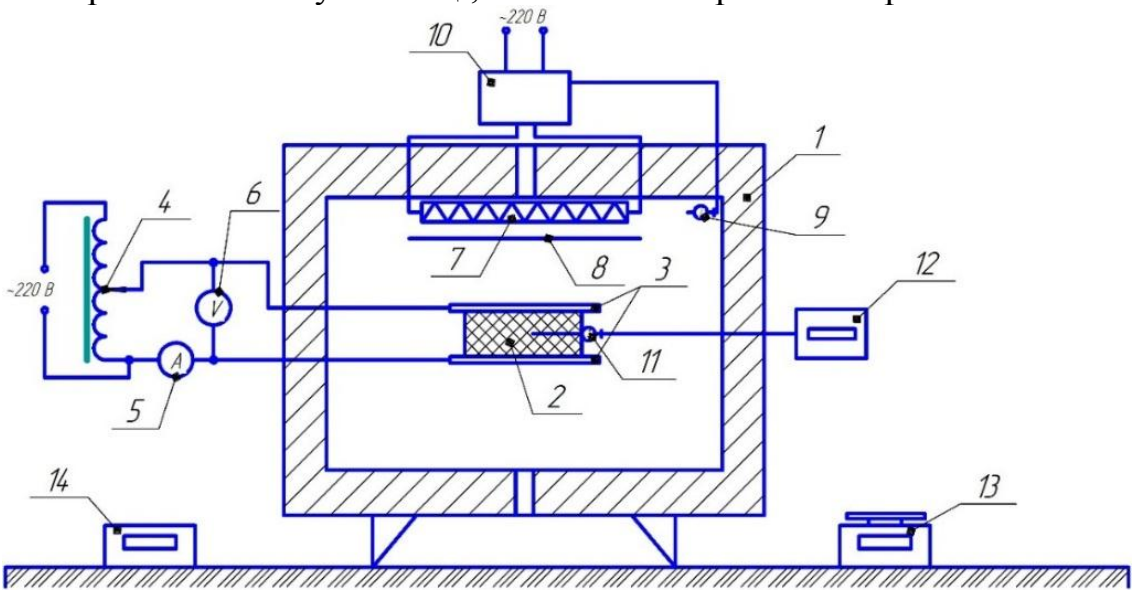



Рис. 1. Схема експериментальної установки:
1 - сушильна шафа типу СНОЛ-2,5; 2 – досліджуваний зразок; 3 – сітчасті електроди; 4 – лабораторний автотрансформатор ЛАТР-2,25; 5 – лабораторний амперметр Д5070; 6 – лабораторний вольтметр Э541; 7 – ТЕН; 8 – екран; 9, 11 – датчик температури типу ТХА; 10 - блок автоматичного керування температурою в сушильній шафі; 12- покажчик температури DT832; 13 – електронні ваги МН-200; 14 – таймер.

В якості об’єкту досліджень використовувались яблука сортів «Раннє» та «Мантет», нарізаних у вигляді кілець діаметром 30 мм і товщиною 5 мм.

В результаті попередніх експериментів були обрані основні варійовані технологічні параметри, що визначають перебіг процесу комбінованого сушіння зразків яблук:

1) температура всередині сушильної шафи – 25-50°С із кроком 15°С;
2) напруга на електродах – 10, 15, 20 В.

Під час експерименту за показаннями приладів фіксувались:

1) поточний час вимірювань;
2) величина струму в залежності від часу;
3) маса зразків в залежності від часу;
4) температура всередині зразка в залежності від часу.

Часові інтервали призначалися в залежності від тривалості всього процесу сушіння до постійної ваги зразків.

На основі проведених замірів проводилися розрахунки наступних параметрів:

1) зменшення маси зразків на часових інтервалах;
2) швидкості висушування;
3) електричного опору зразків;
4) підведена потужність для нагрівання зразків.

При дослідженні запропонованого методу сушіння керуючими параметрами є температура теплоносія та градієнт напруги по товщині зразка.

Верхня межа температури вибиралася з технологічних регламентів. На основі попередніх досліджень було виявлено, що виходячи із товщини зразків 5 мм, закипання останніх відбувалося при напрузі 25 В. Тому максимальне значення напруги обмежувалося значенням 20 В.

При різних комбінаціях умов процесу, насамперед, визначалось падіння маси зразка переважно через двадцятихвилинні інтервали часу (окрім періоду нагріву, де даний інтервал розбивався на дві частини). Паралельно фіксувалось значення температури всередині зразка і величини електричного струму. Теплова обробка зразків проводилася до досягнення сталої маси. Із отриманого масиву даних (9 режимів) на рисунках 2,а,б та 3,а,б показані типові графічні залежності зміни цих параметрів для двох режимів сушіння.

Розрахункові величини швидкості сушіння та електричного опору представлені на рисунках 2,в та 3,в.

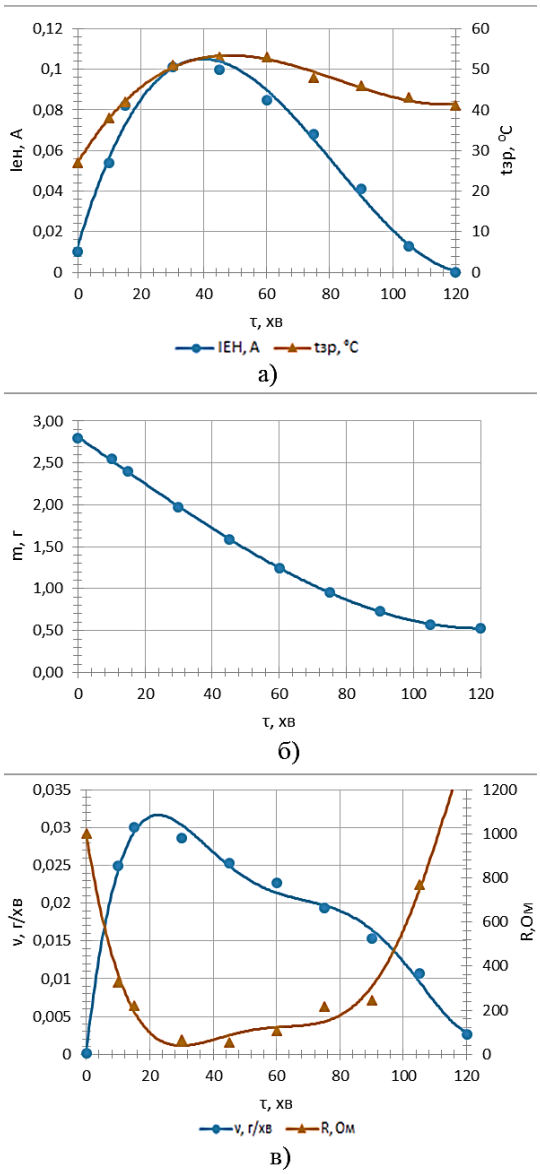



Рис. 2. Залежності параметрів від часу сушіння при $U_{ЕН}$=10 В та температурі теплоносія 55°С: а) струму прямого електронагріву ($I_{ЕН}$) та температури всередині зразка ($t_{зр}$); б) маси зразка (m); в) швидкості сушіння (v) та електричного опору (R).

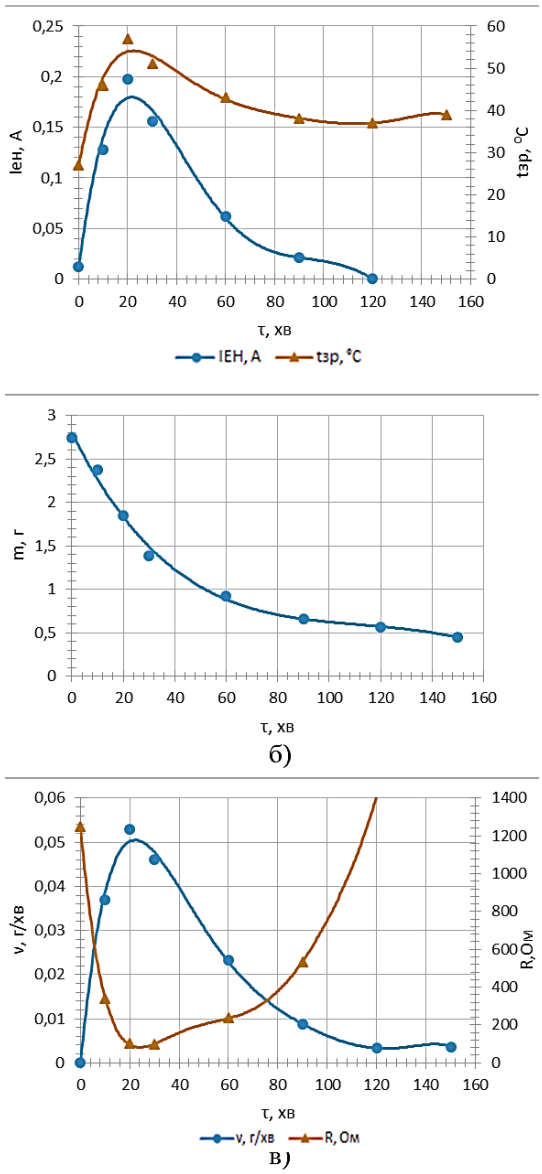



Рис. 3. Залежності параметрів від часу сушіння при $U_{ЕН}$=15 В та температурі теплоносія 40°С: а) струму прямого електронагріву ($I_{ЕН}$) та температури всередині зразка ($t_{зр}$); б) маси зразка (m); в) швидкості сушіння (v) та електричного опору (R).

У всіх проведених експериментах був виявлений характерний хід нагрівання зразка з різким підвищенням струму і температури на першому періоді сушіння (рис. 2,а,б та 3,а,б). Надалі зі зменшенням вологості зразків відбувається падіння величини струму. Водночас зменшення температури всередині зразка відбувається повільніше,

тому що зі зменшенням маси на перший план виходить конвективний теплообмін.

Різке падіння електричного опору (рис. 2,в та 3,в) пояснюється двома факторами: різким виходом клітинного соку і водночас його нагріванням [10].

При конвективному теплопідводі основний процес видалення вільної вологи відбувається під час першого періоду сушіння. Стабільний підвід теплової енергії забезпечує стабільну величину видалення вологи (постійна швидкість сушіння) при сталій температурі зразка з подальшим переходом видалення зв'язаної вологи.

Додатковий прямий електричний нагрів різко змінює протікання процесу зневоднення на першому етапі. В період прогріву швидкість сушіння зростає до пікових величин (рис. 2,в та 3,в), що в декілька разів перевищують значення швидкостей при конвективному сушінні. До моменту закінчення видалення зв'язаної вологи маємо лінійне зменшення швидкості сушіння до значень, характерних для конвективного сушіння. Традиційна ділянка постійної швидкості відсутня.

При одночасному застосуванні прямого електричного і конвективного нагріву спостерігається значне скорочення часу процесу в порівнянні з традиційним конвективним сушінням (табл. 1).

Таблиця 1

**Тривалість сушіння в залежності від технологічних параметрів**

| $t_{пов.}$, °C / $U_{ЕН}$, В | 25 | 40 | 55 |
|---|---|---|---|
| 0 | 2 доби | 8 год. | 4 год. |
| 10 | 9 год. | 5,5 год. | 2,5 год. |
| 15 | 5 год. | 3 год. | 2 год. |
| 20 | 2,5 год. | 1,5 год. | 1,25 год. |

Враховуючи вимоги до якості готової продукції, встановлюється верхня межа нагрівання яблучної сировини до $t_{зр\ max}$ = 55-57°С. Показані енергетичні залежності (рис. 4 та 5) дають можливість визначити найбільш прийнятні режими сушіння з підводом електричної енергії до P = 1Вт/см$^3$ при градієнті напруги по товщині шару U/h = 2-3 В/мм і відповідних температурах теплоносія.

Так, всі режими, що зображені на рис. 4 та 5 нижче обмежувальної горизонтальної лінії при температурі зразка $t_{зр\ max}$ = 55-57 °С є робочими.

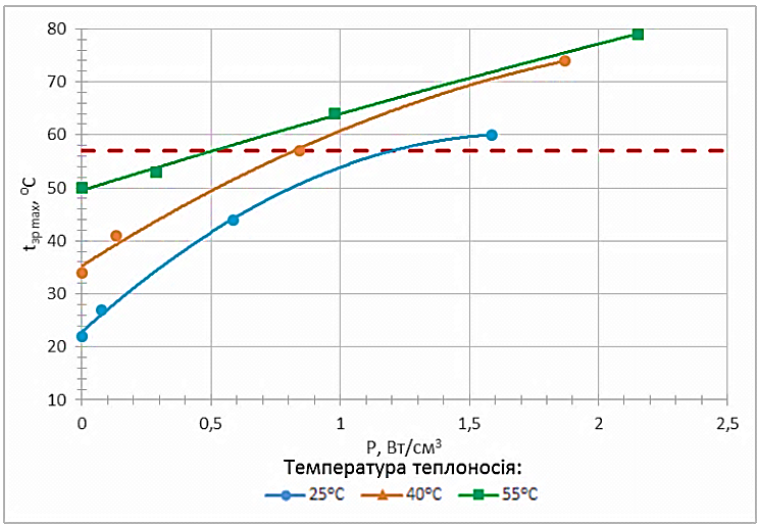



Рис. 4. Залежність максимальної температури зразка від величини підведеної об'ємної електричної потужності при відповідній температурі теплоносія

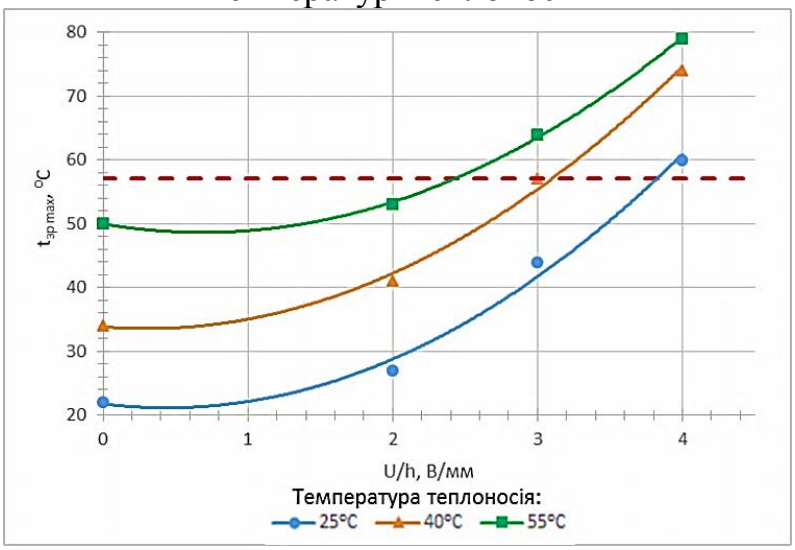



Рис. 5. Залежність максимальної температури зразка від градієнту напруги по товщині шару сировини при відповідній температурі теплоносія

***Висновки.*** 1. Встановлена ефективність комбінованого (конвективний в поєднанні з прямим електронагрівом) способу сушіння яблучної сировини з отриманням продукції заданої якості за час втричі менший в порівнянні лише з конвективним підводом теплової енергії.

2. Виявлене явище зниження електричного опору (рис. 2в та 3в) до мінімальних значень в процесі нагріву зразків яблук електричним струмом при сталій напрузі змінного струму промислової частоти.

3. Визначені граничні режими технологічних параметрів за яких забезпечується належна якість готової продукції.

4. Визначена межа вологості висушуваної сировини, що становить 1/3 від початкової маси, до якої можливий прямий електричний нагрів.

5. Встановлені граничні параметри градієнта напруги по товщині шару до 2-3 В/мм і об'ємної енергонасиченості до 1 Вт/см$^3$ у висушуваному матеріалі, при яких температура зразків не перевищує допустимі значення 55-57 $^0$С.

6. Отримані експериментальні залежності кінетики сушки є передумовою для складання аналітичного опису процесу з комбінованим нагрівом.

**Список використаних джерел**

1. *Левина Р. Е.* Морфология и экология плодов. Ленинград: Наука, 1987. 160 с.

2. *Гинзбург А. С.* Сушка пищевых продуктов. Москва: Пищепромиздат, 1960. 680 с.

3. Электротехнология / *В. А. Карасенко и др.* Москва: Колос, 1992. 304 с.

4. *Журавков А.* Аналитический обзор применения омического нагрева в пищевых технологиях. *Сайт кафедры электротехники Национального университета пищевых технологий*. URL: www.oh.co.ua (дата звернення: 13.02.2019).

5. *Суханова Р. С.* Современные промышленные способы очистки картофеля. *Агроголландия.* 1993. № 3. С. 9.

6. Сайт государственного агрикультурного центрального университета штата Луизиана, США. URL: http://www.lsuagcenter.com/ (дата звернення: 13.02.2019).

7. *Яковлєв В. Ф., Савойський О. Ю.* Використання прямого електричного нагріву в технологічному процесі комбінованого сушіння фруктів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка*. 2018. № 195. С. 91–96.

8. А. с. СССР № 124791. Способ сушки тонких волокнистых материалов путем прямого электронагрева / *В. В. Красников, В. А. Данилов*; заявл. 13.01.1959, Бюл. № 23.

9. Спосіб комбінованого сушіння біологічних об'єктів: пат. 127324 Україна: МПК (2018.01) F26B 7/00, F26B 5/0.2 (2006.01). № u 2018 02036; заявл. 27.02.2018; опубл. 25.07.2018, Бюл. № 14.

10. *Родиков С. А.* Методы и устройства анализа зрелости яблок. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2009. 216 с.

# ИССЛЕДОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ПРОЦЕССА СУШКИ ВЫСОКОВЛАЖНОГО ЯБЛОЧНОГО СЫРЬЯ

**Савойский А. Ю., Яковлев В. Ф., Сиренко В. Ф.**

***Аннотация*** **-** Продовольственный рынок Украины нуждается в значительном количестве овощной и фруктовой продукции в высушенном состоянии, чаще всего в виде полуфабрикатов для длительного хранения или готового продукта для потребления. Альтернативой теплового удаления влаги является электротехнологии при которых экологически чистая энергия подается в концентрированном виде непосредственно к объектам сушки.

В Сумском НАУ предложен комбинированный способ высушивания высоковлажного нарезанного фруктового и овощного сырья [10], в котором используется поверхностный конвективный нагрев в сочетании с подводом энергии по всему объему при непосредственном пропускании электрического тока. На первой стадии сушки яблоки имеют большое количество влаги в свободном состоянии, поэтому для интенсификации процесса целесообразно использовать пропускания электрического тока.

Разработанная экспериментальная установка для исследования процессов комбинированной конвективной и электрической сушки образцов яблок, на первой стадии, представляет сушильную камеру в которой поддерживалась заданная температура воздуха с диапазона 25-55$^0$С. К высушиваемым образцам через гибкие контакты подводился переменный электрический ток промышленной частоты 50 Гц напряжением 10-20 В. Через определенные интервалы времени фиксировались: величина тока, масса образцов и их внутренняя температура. Расчетным путем были определенный электрическое сопротивление и скорость сушки объектов.

Измерения электрического сопротивления высушиваемых образцов яблок показали их электропроводность до 1/3 от первоначальной массы. Было установлено, что вследствие интенсивного соковыделения из клеток мякоти яблока и соответствующего уменьшения сопротивления растительного материала в условиях ограниченного отвода водяных паров наблюдается резкий рост величины электрического тока и температуры образцов к пиковым значениям. В то же время увеличивалось и скорость сушки до наибольших значений.

Установлены предельные параметры напряженности до 2-3 В/мм и объемной энергонасыщенности до 1 Вт/см$^3$ в высушиваемом материале при которых температура образцов яблок не превышает допустимые пиковые значения 50-55 $^0$С. При допустимых диапазонах начальных условий энергоподвода установлено 2-3-х кратное уменьшение продолжительности первого этапа сушки по сравнению с конвективным нагревом при одинаковых температурах теплоносителей.

Анализ кривых сушки и изменения скорости процесса обнаружил отсутствие классического первого периода сушки с постоянной скоростью влаговыделения, что требует дальнейшего исследования кинетики сушки при комбинированном энергоподводе.

Полученные результаты исследований могут стать основой для разработки технологических процессов периодической сушки нарезанных яблок в аппаратах средней производительности.

***Ключевые слова:*** яблочное сырье, комбинированная сушка, кривые сушки, напряжение, проводимость, прямой электронагрев.

## RESEARCH OF THE COMBINED DRYING PROCESS OF APPLE RAW MATERIAL OF HIGH HUMIDITY

**A. Savoiskyi, V.Yakovlev, V. Sirenko**

***Summary.*** The food market of Ukraine needs a significant amount of vegetable and fruit products in a dried state, most often in the form of semi-finished products for long-term storage or the finished product for consumption (vegetable and fruit chips, snacks, etc.).

The developers of technologies and equipment, first of all, are faced with the task of ensuring the proper quality of products. An alternative to thermal moisture removal is electrical technology in which clean energy is fed in a concentrated form directly to the objects of drying.

In Sumy National Agrarian University proposed a combined method of drying high-moisture sliced fruit and vegetable raw materials [10], which uses surface convective heating in combination with the supply of energy throughout the volume with direct transmission of electric current. At the first stage of drying, apples have a large amount of moisture in a free state, therefore, to intensify the process, it is advisable to use the transmission of electric current.

The developed experimental facility for studying the processes of combined convective and electric drying of apple samples, in the first stage, represents a drying chamber in which the desired air temperature from 25-55 °C was maintained. The dried electric samples were supplied through flexible contacts with an alternating electric current of industrial frequency 50 Hz with a voltage of 10-20 V. At certain time intervals, the current magnitude, the mass of the samples and their internal temperature were recorded. Calculated were a certain electrical resistance and drying rate of objects.

Measurements of the electrical resistance of dried apple samples showed their electrical conductivity up to 1/3 of the original weight. It was found that due to the intense juice production from the apple pulp cells and a corresponding decrease in the resistance of the plant material under conditions of limited removal of water vapor, a sharp increase in the electric current and sample temperature to peak values is observed. At the same time, the drying rate increased to the highest value.

Limit parameters of intensity up to 2-3 V/mm and volumetric energy saturation up to 1 W/cm$^3$ in the dried material were established at which the temperature of apple samples does not exceed the allowable peak values of 50-55 C.

With allowable ranges of initial energy supply conditions, a 2-3-fold reduction in the duration of the first stage of drying was established compared to convective heating at the same temperature of the heat transfer media.

Analysis of the drying curves and changes in the process rate revealed the absence of the classical first drying period with a constant rate of moisture release, which requires further study of the kinetics of drying with a combined energy supply.

The results of research can be the basis for the development of technological processes of periodic drying of sliced apples in the apparatus of average productivity.

***Keywords:*** apple raw materials, combined drying, drying curves, voltage, conductivity, direct electrical heating.

**УДК 621.3.078** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-34**

# ЗАКОНИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ В УМОВАХ ПАРАМЕТРИЧНИХ ТА КООРДИНАТНИХ ЗБУРЕНЬ

**Островерхов М. Я., д.т.н.** **https://orcid.org/0000-0002-7322-8052**
*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
E-mail: n.ostroverkhov@hotmail.com

***Анотація*** – в статті наведено метод керування електромеханічними системами, що забезпечує слабку чутливість до змін параметрів об'єкта керування та його динамічну декомпозицію. Вирішення задачі керування об’єктом в умовах параметричних та координатних збурень класичними методами теорії автоматичного керування вимагає додаткових алгоритмів ідентифікації, адаптації або компенсації. У статті запропоновано метод розробки законів керування на основі зворотності прямого методу Ляпунова для аналізу стійкості. Це дозволяє визначати закони керування, при яких замкнутий контур має задану функцію Ляпунова у вигляді миттєвого значення енергії. Задачею зворотної задачі динаміки в поєднанні з мінімізацією миттєвого значення енергії є визначення закону керування, який забезпечує наперед задану якість керування з необхідними статичними та динамічними характеристиками системи. При цьому особливість оптимізації полягає не в отриманні абсолютного мінімуму функціоналу якості, як це зазвичай використовується в класичних системах, а отримання певної мінімальної величини, яка забезпечить технічно допустиму динамічну похибку системи. Такий підхід дозволяє практично розробити закони керування електромеханічними системами, які забезпечують задану якість керування та просту практичну реалізацію в умовах зміни параметрів об'єкта керування та невизначеностей у математичній моделі. Отримані регулятори мають нетипову структуру і не містять параметрів об'єкта керування, на відміну від традиційних регуляторів. Це забезпечує ефективну роботу системи з меншою чутливістю до змін параметрів об’єкту, а також простоту реалізації системи керування. Результати досліджень підтвердили ефективність запропонованих законів регулювання і показали їх переваги в порівнянні з класичними законами.

***Ключові слова*:** електромеханічна система, збурення, закони керування, якість керування, моделювання.

**Постановка проблеми.** Проблема практичного застосування законів керування координатами електромеханічних систем, отриманих на основі методів класичної теорії автоматичного керування, полягає в необхідності мати повну інформацію про структуру і параметри математичної моделі об'єкта керування. Це обумовлено тим, що ці закони за своєю природою є алгоритмами керування компенсаційного типу. Наприклад, передаточні функції

© Островерхов М. Я.

регуляторів струму та швидкості електропривода, що налаштовані на поширений модульний або симетричний оптимум, компенсують відповідні ланки об'єкта з метою отримання необхідної передаточної функції контуру керування. Зміна параметрів об'єкта в процесі роботи або похибка у їх визначенні призводить до погіршення заданої якості керування, вимагаючи додаткових алгоритмів ідентифікації або адаптації. Інша проблема виникає при керуванні взаємопов'язаними об'єктами, зокрема, при векторному керуванні двигунами змінного струму, двозонному керуванні швидкістю двигунів постійного струму або при керуванні механізмами зі складною кінематикою. В цьому випадку класичні закони керування отримуються в результаті статичної декомпозиції на відносно незалежні підсистеми та введення додаткових компенсуючих зв'язків, ефективність яких знову залежить від точних значень параметрів.

**Аналіз останніх досліджень.** Серед методів, за допомогою яких можна вирішити задачу синтезу законів керування координатами електромеханічних систем в умовах параметричних та координатних збурень, найбільш придатними є релейні чи згладжені методи зі змінною структурою, методи з великим коефіцієнтом підсилення, комбіновані методи із спостерігачем невизначеності, адаптивні методи з ідентифікацією параметрів чи моделлю, методи на основі зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій.

Релейні методи керування зі змінною структурою забезпечують роботу регуляторів у релейному режимі без зони нечутливості [1]. Ця особливість обумовлює появу характерних ковзних режимів роботи. Ковзні режими збільшують споживання енергії на керування та призводять до підвищеного зношення механізмів, зменшують завадостійкість системи та можуть приводити до нестійкої роботи внаслідок неврахованої динаміки. Для зменшення цих недоліків релейні елементи замінюються на лінійні ланки з насиченням, в результаті чого отримуються згладжені методи зі змінною структурою [2]. Системи на їх основі за динамічними характеристиками близькі до релейних, проте розвивають обмежені керуючі дії, що погіршує точність керування та робастність.

Методи, що допускають великий коефіцієнт підсилення розімкнутої системи [3], мають підвищену точність і робастну стійкість стосовно невизначеності параметрів і зовнішніх низькочастотних впливів, причому точність зростає зі збільшенням коефіцієнта підсилення. Однак при великих коефіцієнтах можлива поява нестійкості високочастотної неврахованої динаміки, а також поява похибок через високочастотні завади. Крім того, не всі системи керування допускають значного збільшення коефіцієнта передачі.

Комбіновані методи керування зі спостерігачами невизначеності [4] дозволяють для нелінійного нестаціонарного об'єкта синтезувати лінійний стаціонарний регулятор, що забезпечує задані показники якості керування. В цьому методі задачі компенсації зовнішніх впливів і забезпечення заданих показників якості перехідних процесів вирішуються незалежно, що спрощує синтез. Недоліком методу є складні умови забезпечення працездатності спостерігача невизначеності, особливо для невизначених об'єктів.

Адаптивні методи керування з ідентифікацією параметрів у реальному часі [5] в основному призначені для лінійних систем. Їхні можливості обмежуються зі збільшенням кількості параметрів через необхідність виконання умов їх ідентифікації, які визначаються характером руху. Це веде до підвищення вимог до характеру руху системи, яке може не відповідати технологічному процесу. В адаптивних методах керування з моделлю [6] задається модель бажаного руху у вигляді рівнянь із початковими умовами, що найбільш близькі до початкових умов об'єкта керування. Оскільки система керування повинна відслідковувати задану траєкторію, то рівняння руху представляються у вигляді двох складових: рівнянь еталонної моделі й рівнянь руху щодо цієї моделі. Для складних об'єктів рівняння руху будуть нелінійними та нестаціонарними. Ця обставина ускладнює як синтез алгоритмів керування, так і дослідження стійкості траєкторії.

В основу методу на основі зворотних задач динаміки в поєднанні з мінімізацією локальних функціоналів миттєвих значень енергій покладена ідея зворотності прямого методу Ляпунова з дослідження стійкості [7], що дозволяє знаходити закон керування, при якому замкнутий контур має наперед задану функцію Ляпунова. Отриманий закон керування надає системі властивість стійкості в цілому, що дозволяє вирішувати завдання керування взаємопов'язаними об'єктами за математичними моделями локальних контурів. Характерною особливістю оптимізації є знаходження не абсолютного мінімуму функціонала якості, як в класичних системах, а деякого мінімального значення, що забезпечує допустиму за технічними умовами динамічну похибку системи.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є підвищення якості керування координатами електромеханічних систем в умовах параметричних та координатних збурень шляхом розробки законів керування на основі мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій в поєднанні з концепцією зворотних задач динаміки. Отримані закони керування забезпечують слабку чутливість до параметричних збурень об'єкта та здійснюють динамічну

декомпозицію взаємозалежної системи, що обумовлює їх просту практичну реалізацію.

**Основна частина.** Змістом зворотної задачі динаміки є отримання закону керування, при якому система володіла б наперед заданими динамічними й статичними властивостями [8]. Пошук керуючих функцій здійснюється при мінімізації локальних функціоналів в околі траєкторій еталонних моделей, за допомогою яких задаються динамічні та статичні властивості замкнутої системи керування. Локальні функціонали є функціями Ляпунова для замкнутих систем, в якості яких виступають миттєві значення енергій, а також їхніх похідних, що представлені в теоретичній механіці поняттям "узагальнена енергія". Суттєвою перевагою цієї концепції є те, що для визначення закону керування непотрібно вирішувати оптимізаційну задачу в традиційному розумінні, бо він записується безпосередньо по диференціальному рівнянню об'єкту керування та диференціальному рівнянню, яким задається бажана якість керування.

Бажана якість керування замкнутого контуру задається за допомогою диференціального рівняння наступного виду

$$\frac{d^n z}{dt^n} + .. + \gamma_1 \frac{dz}{dt} + \gamma_0 = \rho_m \frac{d^m x^*}{dt^m} + .. + \rho_1 \frac{dx^*}{dt} + \rho_0 . \qquad (1)$$

Коефіцієнти рівняння $\gamma_i$ та $\rho_j$ визначають характер та тривалість перехідного процесу вихідної координати $z$ при русі по заданій траєкторії $x^*$. При цьому функція $x^*$ є диференційована за часом, а порядок правої частини рівняння менший за ліву, тобто $m<n$.

Порядок $n$ диференціального рівняння (1) може бути різним для кожного контуру керування у відповідності до вимог якості та порядку математичної моделі об'єкту керування. Найчастіше порядок рівняння дорівнює або на одиницю більше порядку моделі об'єкту керування. Для випадку $n=3$ передаточна функція замкнутого контуру керування, що складена на основі диференціального рівняння (1) при $m=1$, має вигляд

$$W_з(p) = \frac{z(p)}{x^*(p)} = \frac{\rho_1 p + \rho_0}{p^3 + \gamma_2 p^2 + \gamma_1 p + \gamma_0} . \qquad (2)$$

Відповідна передаточна функція розімкнутого контуру керування становить

$$W_p(p) = \frac{W_з(p)}{1 - W_з(p)} = \frac{\rho_1 p + \rho_0}{p^3 + \gamma_2 p^2 + (\gamma_1 - \rho_1) p + (\gamma_0 - \rho_0)} . \qquad (3)$$

Як видно з (3), якщо задати коефіцієнти $\gamma_0=\rho_0$, то система матиме астатизм першого порядку $\nu=1$

$$W_p(p)=\frac{\rho_1 p+\rho_0}{p[p^2+\gamma_2 p+(\gamma_1-\rho_1)]}, \quad (4)$$

а при $\gamma_0=\rho_0$ та $\gamma_1=\rho_1$ – другого порядку $\nu=2$

$$W_p(p)=\frac{\rho_1 p+\rho_0}{p^2(p+\gamma_2)}. \quad (5)$$

Задана добротність за швидкістю системи (4) з астатизмом 1-го порядку визначається відношенням коефіцієнтів рівняння

$$D^3_{шв}=\frac{\rho_0}{(\gamma_1-\rho_1)}, \quad (6)$$

а добротність за прискоренням системи з астатизмом 2-го порядку (5) дорівнює

$$D^3_{пр}=\frac{\rho_0}{\gamma_2}. \quad (7)$$

При керуванні координатами систем, рух яких описується рівняннями другого порядку, порядок моделі (1) може бути $n=2$. У цьому випадку передаточна функція замкнутого контуру керування має вигляд

$$W_з(p)=\frac{z(p)}{x^*(p)}=\frac{\rho_0}{p^2+\gamma_1 p+\gamma_0}. \quad (8)$$

Відповідна передаточна функція розімкнутого контуру керування становить

$$W_p(p)=\frac{\rho_0}{p^2+\gamma_1 p+(\gamma_0-\rho_0)}. \quad (9)$$

Як видно з (9), якщо задати коефіцієнти $\gamma_0=\rho_0$, то система матиме астатизм першого порядку $\nu=1$

$$W_p(p)=\frac{\rho_0}{p(p+\gamma_1)}, \quad (10)$$

а задана добротність за швидкістю дорівнює

$$D^3_{шв}=\frac{\rho_0}{\gamma_1}. \quad (11)$$

Структура та параметри моделей бажаної якості задаються такими, щоб їх збурений рух був стійким. Для моделі третього порядку (2) ця умова відповідно до критерію Гурвіца виконується, якщо $\gamma_0>0;\ \gamma_1>0;\ \gamma_2>0;\ \gamma_1\gamma_2>\gamma_0$, а для моделі другого порядку (8) – при додатних коефіцієнтах $\gamma_0>0;\ \gamma_1>0$. Зв'язок між коефіцієнтами моделей (1), (2), (8) та показниками якості керування, такими як час регулювання, вид перехідного процесу, перерегулювання,

встановлюється за допомогою відомих методів, наприклад, кореневих або частотних з уточненням шляхом моделювання на ЕОМ.

Методика розробки законів керування координатами електромеханічних систем викладається на типовому прикладі керування нелінійним взаємозв'язаним об'єктом – відомою системою прямого векторного керування швидкістю асинхронного двигуна. Об'єкт піддається дії координатних і параметричних збурень, обумовлених перехресними зв'язками і зміною електричних опорів обмоток в результаті нагрівання і насичення магнітного кола. Математична модель асинхронного двигуна в синхронній системі координат, орієнтованої по вектору потокозчеплення ротора, представляється відомою системою диференціальних рівнянь

$$\begin{cases} \dfrac{di_{1d}}{dt} = -\dfrac{R_1}{\sigma} i_{1d} - \alpha\beta L_m i_{1d} + \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta\left|\psi_2\right| + \dfrac{u_{1d}}{\sigma}; \\ \dfrac{di_{1q}}{dt} = -\dfrac{R_1}{\sigma} i_{1q} - \alpha\beta L_m i_{1q} - \omega_0 i_{1d} - \beta\omega p_n\left|\psi_2\right| + \dfrac{u_{1q}}{\sigma}; \\ \dfrac{d\left|\psi_2\right|}{dt} = -\alpha\left|\psi_2\right| + \alpha L_m i_{1d}; \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{M}{J} - \dfrac{M_c}{J}, \end{cases} \quad . \qquad (12)$$

де $\alpha = R_2 / L_2$, $\sigma = L_1 - L_m^2 / L_2$, $\beta = L_m / \sigma L_2$ – параметри моделі;

$R_1$, $R_2$ – активний електричний опір обмотки статора і ротора;

$L_1$, $L_2$, $L_m$ – індуктивність обмоток і контуру намагнічування;

$\omega$, $\omega_0$ – кутова швидкість ротора і магнітного поля;

$J$ – момент інерції;

$M_c$ – момент опору;

$u_{1d}$, $u_{1q}$ – компоненти вектора напруги статора;

$i_{1d}$, $i_{1q}$ – компоненти вектора струму статора;

$\left|\psi_2\right|$ – модуль вектора потокозчеплення ротора;

$M = \dfrac{3}{2} p_n \dfrac{L_m}{L_2}\left|\psi_2\right| i_{1q}$ – момент двигуна;

$p_n$ – число пар полюсів.

Для вирішення задачі керування вихідна система рівнянь (12) перетворюється до виду (13), де $V_{1d} = \omega_0 i_{1q} + \alpha\beta\left|\psi_2\right|$, $V_{1q} = -\omega_0 i_{1d} - \beta\omega p_n\left|\psi_2\right|$ – збурення, що описують взаємний вплив координат. Ці збурення трактуються як невизначені, проте обмежені

за величиною $V_{1d} \le V_{1d}^0$, $V_{1q} \le V_{1q}^0$. Рівня керуючих впливів достатньо для їх компенсації $u_{1d} / \sigma > V_{1d}^0, u_{1q} / \sigma > V_{1q}^0$.

$$\begin{cases} \dfrac{di_{1d}}{dt} + (\dfrac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m) i_{1d} = \dfrac{u_{1d}}{\sigma} + V_{1d}; \\ \dfrac{di_{1q}}{dt} + (\dfrac{R_1}{\sigma} + \alpha\beta L_m) i_{1q} = \dfrac{u_{1q}}{\sigma} + V_{1q}; \\ \dfrac{d|\psi_2|}{dt} + \alpha|\psi_2| = \alpha L_m i_{1d}; \\ \dfrac{d\omega}{dt} = \dfrac{M}{J} - \dfrac{M_c}{J}. \end{cases} \quad (13)$$

Таким чином, взаємопов'язана нелінійна система 4-го порядку з урахуванням підпорядкованого регулювання координат перетворюється в систему з 4-х лінійних рівнянь першого порядку. В результаті задача керування об'єктом (12) зводиться до вирішення чотирьох локальних задач керування лінійними підсистемами (13), а саме: польовою і моментною складовою струму статора, модулем вектора потокозчеплення ротора та швидкістю двигуна.

Закон керування польовою складовою струму по каналу потокозчеплення ротора визначається на підставі першого рівняння системи (13). Як видно, локальний об'єкт керування описується рівнянням першого порядку, що відповідає аперіодичній ланці. Порядок бажаного рівняння замкнутого контуру струму виду (1) також приймається рівним одиниці (*n=1; m=0*) із забезпеченням астатизму першого порядку *v=1* та заданої добротністю по швидкості $D_\omega^z = \gamma_{0d}$

$$\dot{z} + \gamma_{0d} z = \gamma_{0d} i_{1d}^* . \quad (14)$$

Тривалість монотонного перехідного процесу струму $t_{nn} \approx 3 / \gamma_{0d}$ задається за допомогою коефіцієнта $\gamma_{0d}$.

Потрібно знайти таку керуючу функцію регулятора струму $u_{1d}$, щоб якість керування струмом наближалася до бажаної, заданої рівнянням (14). Ступінь наближення реального процесу керування струмом до бажаного оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану по індуктивності енергію першої похідної магнітного поля виду $\dot{W}_m = L\dfrac{i^2}{2}$

$$G(u_{1d}) = \frac{1}{2}\left[\dot{z}(t) - \dot{i}_{1d}(t, u_{1d})\right]^2 . \quad (15)$$

Знаходження керуючої функції класичними методами за умовою досягнення абсолютного мінімуму функціоналу

$$\min_{u} G(u_{1d}) = 0 \tag{16}$$

призводить до класичного закону керування компенсаційного типу, для реалізації якого потрібна точна інформація про структуру і параметри об'єкта. Відхилення параметрів від розрахункових значень призводить до погіршення якості керування. Цей недолік усувається, якщо відмовитися від точного виконання умови (16), а лише обмежиться вимогою, щоб значення функціоналу (15) належало деякій околиці екстремального мінімуму, що забезпечує допустиму за технічними умовами динамічну похибку $|z(t) - i_{1d}(t)| \le \varepsilon$. Для цього мінімізація функціоналу здійснюється по градієнтному закону першого порядку

$$\frac{du_{1d}(t)}{dt} = -\lambda_d \frac{dG(u_{1d})}{du_{1d}}, \tag{17}$$

де $\lambda_d > 0$ – константа.

З урахуванням (13) та (14) похідна функціоналу дорівнює

$$\frac{dG(u_{1d})}{du_{1d}} = -\frac{1}{\sigma}\left(\dot{z} - \dot{i}_{1d}\right). \tag{18}$$

Після підстановки (18) в (17) знаходиться закон керування струмом

$$\dot{u}_{1d}(t) = k_d(\dot{z} - \dot{I}), \tag{19}$$

де $k_d = \lambda_d / \sigma = const$ – коефіцієнт підсилення регулятора струму.

Необхідна умова збіжності процесу мінімізації функціоналу при $t \to \infty$

$$\frac{dG(u_{1d})}{dt} < 0;\ G(u_{1d}) \to 0 \tag{20}$$

виконується згідно з правилом знаків

$$sign(k_d) = sign\left(1/\sigma\right). \tag{21}$$

Змінна в законі керування (19) виконує роль необхідної (заданої) похідної струму, яка визначається в реальному часі з рівняння бажаної якості (14) шляхом замикання системи зворотним зв'язком по струму $z = i_{1d}$

$$\dot{z} = \gamma_{0d}(i^*_{1d} - i_{1d}). \tag{22}$$

Остаточно закон керування струмом набирає вигляду після інтегрування обох частин рівняння (19) з урахуванням (22)

$$\begin{aligned} u_{1d}(t) &= k_d(z - i_{1d}); \\ z &= \gamma_{0d}\int (i^*_{1d} - i_{1d})dt. \end{aligned} \tag{23}$$

На підставі (23) побудована структурна схема регулятора струму типу 101 (*n=1; m=0; v=1*), що показана на рис. 1.

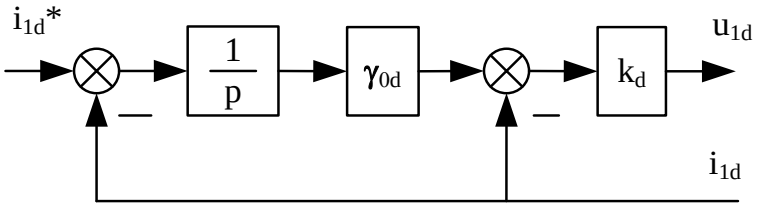



Рис. 1. Структура регулятора струму типу 101

Як видно з рисунка, регулятор має нетипову структуру, містить тільки параметр $\gamma_{0d}$ бажаного закону керування відповідно до (14) і не містить параметрів об'єкта керування (12), що характерно для класичних регуляторів.

Важливим завданням синтезу є дослідження стійкості отриманої системи керування. Рівняння замкнутого контуру струму отримується після підстановки в перше рівняння об'єкта (13) закону керування (19) з урахуванням (22)

$$\ddot{i}_{1d} + (R_1/\sigma + \alpha\beta L_m + k_d/\sigma)\dot{i}_{1d} + (k_d\gamma_{0d}/\sigma)i_{1d} = (k_d\gamma_{0d}/\sigma)i_{1d}^*. \quad (24)$$

Замкнута система (24) є стійкою навіть при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення регулятора струму $k_d \to \infty$, так як згідно з критерієм Гурвіца коефіцієнти рівняння є додатними

$$(R_1/\sigma + \alpha\beta L_m + k_d/\sigma) > 0; \quad k_d\gamma_{0d}/\sigma > 0. \quad (25)$$

Зі збільшенням коефіцієнта підсилення регулятора динамічні процеси в контурі струму наближаються до бажаних, заданим рівнянням (14), що очевидно при $k_d \to \infty$ після ділення всіх членів рівняння (24) на складову $k_d/\sigma$. Завдяки такій властивості закону керування в разі наявності у системі параметричних збурень забезпечується слабка чутливість до зміни параметрів, а при координатних збуреннях здійснюється її динамічна декомпозиція. В процесі роботи взаємозв'язана система розпадається на окремі локальні контури керування, процеси в яких протікають відповідно до заданих траєкторій виду (1). Звичайно, при допустимих з точки зору технічної реалізації коефіцієнтах підсилення існує похибка керування, максимально допустима величина якої встановлюється технологічними та технічними вимогами

Важливим питанням є визначення властивостей контуру струму при кінцевих значеннях коефіцієнта підсилення регулятора. Згідно передаточної функції розімкнутого контуру струму, отриманої на підставі (24) аналогічно до (3)

$$W_r(p)=\frac{k_d\gamma_{0d}/\sigma}{p[p+(R_1/\sigma+\alpha\beta L_m+k_d/\sigma)]} \quad (26)$$

струмовий контур володіє заданим астатизмом першого порядку $v=1$ та добротністю по швидкості рівній

$$D_\omega=\frac{k\gamma_{0d}/\sigma}{R_1/\sigma+\alpha\beta L_m+k_d/\sigma}=\frac{\gamma_{0d}}{R_1/k_d+\alpha\beta L_m\sigma/k_d+1}. \quad (27)$$

Умовою забезпечення допустимої динамічної похибки струму є співвимірна задана і реальна добротність $D_\omega^z=D_\omega$, що виконується при великому коефіцієнті посилення регулятора $k_d$. Цей недолік усувається, якщо синтезувати закон керування на підставі рівняння бажаної якості, порядок якого $n=2$ на відміну від (14) на одиницю вище порядку рівняння локального об'єкта керування (перше рівняння системи (13))

$$\ddot{z}+\gamma_{1_d}\dot{z}+\gamma_{0_d}z=\gamma_{0_d}i_{1d}^*. \quad (28)$$

Застосовуючи вищевикладену методику, отримується наступний закон керування струмом

$$\begin{aligned} u_{1d}(t)&=k_d(z-i_{1d})\ ;\\ z&=\int f_0dt;\\ f_0&=\gamma_{0d}\int(i_{1d}^*-i_{1d})dt-\gamma_{1d}i_{1d}. \end{aligned} \quad (29)$$

За рівнянням (29) побудована структурна схема регулятора струму типу 201, що представлена на рис. 2.

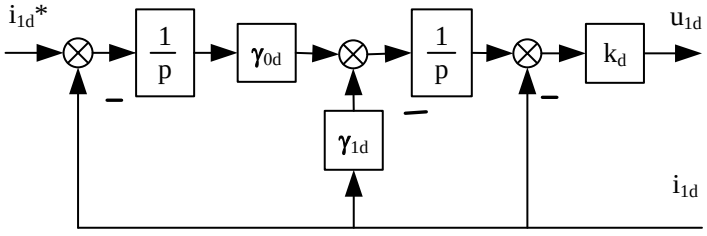



Рис. 2. Структура регулятора струму типу 201

Цей регулятор також містить тільки параметри бажаного закону керування $\gamma_{0d}$ та$\gamma_{1d}$, за допомогою яких встановлюється необхідний вид і час перехідного процесу, а також величина перерегулювання струму. Регулятор не містить параметрів об'єкта керування, що характерно для класичних законів. З передаточної функції розімкнутого контуру струму для даного закону керування

$$W_r(p)=\frac{k_d\gamma_{0d}/\sigma}{p[p^2+(R_1/\sigma+\alpha\beta L_m+k_d/\sigma)p+k_d\gamma_{1d}/\sigma]} \quad (30)$$

видно, що струмовий контур володіє заданим астатизмом першого порядку *v=1* та добротністю по швидкості рівній заданій

$$D_\omega=D_\omega^z=\frac{\gamma_{0d}}{\gamma_{1d}}. \quad (31)$$

Це забезпечує допустиму динамічну похибку струму при помірних коефіцієнтах посилення регулятора $k_d$.

На підставі другого рівняння системи (13) за вищевикладеною методикою визначається закон керування моментною складовою струму статора на основі рівняння бажаної якості виду (14)

$$\begin{aligned} u_{1q}(t)&=k_q(z-i_{1q});\\ z&=\gamma_{0q}\int(i_{1q}^*-i_{1q})dt. \end{aligned} \quad (32)$$

Згідно (32) регулятор моментної складової струму має таку ж структуру, як і регулятор польовою складовою (рис. 1).

Розробка закону керування модулем вектора потокозчеплення ротора $|\psi_2|$ здійснюється на підставі третього рівняння системи (13). Контур потокозчеплення ротора є зовнішнім, щодо розглянутого вище внутрішнього контуру керування польовою складовою струму $i_{1d}$. Локальний об'єкт керування описується диференціальним рівнянням першого порядку, тому порядок рівняння замкнутого контуру потокозчеплення виду (1), яким задається бажана якість керування, також приймається рівним одиниці (*n=1; m=0; v=1*)

$$\dot z+\gamma_{0\psi}z=\gamma_{0\psi}|\psi_2|^* \quad (33)$$

із заданою добротністю по швидкості $D_\omega^z=\gamma_{0\psi}$. Для зменшення впливу динаміки внутрішнього контуру струму з регулятором (23) на роботу контуру потокозчеплення значення параметра рівняння (33) вибирається з умови $\gamma_{0d}>(3..5)\gamma_{0\psi}$. Тривалість монотонного перехідного процесу потокозчеплення дорівнює $t_{nn}\approx 3/\gamma_{0\psi}$.

Необхідно знайти керуючу функцію регулятора потокозчеплення $i_{1d}^*$, що забезпечує наближення реального процесу керування до бажаного (33). Ступінь наближення процесів оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану по індуктивності енергію першої похідної магнітного поля виду $\dot W_m=\frac{\dot\psi^2}{2L}$

$$G(i_{1d}^*)=\frac{1}{2}\left[\dot z(t)-|\dot\psi_2|(t,i_{1d}^*)\right]^2. \quad (34)$$

Мінімізація функціоналу здійснюється по градієнтному закону першого порядку

$$\frac{di_{1d}^{*}(t)}{dt} = -\lambda_{\psi} \frac{dG(i_{1d}^{*})}{di_{1d}^{*}}, \tag{35}$$

де $\lambda_{\psi}>0$– константа.

Похідна функціоналу (34) дорівнює

$$\frac{dG(i_{1d}^{*})}{di_{1d}^{*}} = -\alpha L_m \left(\dot{z} - |\dot{\psi}_2|\right). \tag{36}$$

Після підстановки (36) в (35) знаходиться закон керування потокозчепленням

$$i_{1d}^{*}(t) = k_{\psi}(\dot{z} - |\dot{\psi}_2|), \tag{37}$$

де $k_{\psi} = \alpha L_m \lambda_{\psi} = const$ – коефіцієнт підсилення регулятора потокозчеплення.

Необхідна умова збіжності процесу мінімізації функціоналу при $t \to \infty$

$$\frac{dG(i_{1d}^{*})}{dt} < 0;\ G(i_{1d}^{*}) \to 0 \tag{38}$$

виконується згідно з правилом знаків

$$sign(k_{\psi}) = sign(\alpha L_m). \tag{39}$$

Змінна в законі керування (37) виконує роль необхідної похідної потокозчеплення, яка визначається в реальному часі з рівняння (33) шляхом замикання зворотним зв'язком за потокозчепленням $z=|\psi_2|$

$$\dot{z} = \gamma_{0\psi}(|\psi_2|^{*} - |\psi_2|). \tag{40}$$

Після інтегрування обох частин рівняння (37) з урахуванням (40) знаходиться остаточний вид закону керування потокозчепленням

$$\begin{aligned} i_{1d}^{*}(t) &= k_{\psi}(z - |\psi_2|)\ ; \\ z &= \gamma_{0\psi} \int (|\psi_2|^{*} - |\psi_2|)dt. \end{aligned} \tag{41}$$

Регулятор потокозчеплення, що побудований на основі (38), має нетипову структуру, подібну до зображеної на рис. 1. Він містить тільки параметр $\gamma_{0\psi}$ бажаного закону керування (33).

Рівняння замкнутого контуру потокозчеплення

$$|\ddot{\psi}_2| + (\alpha + \alpha L_m k_{\psi})|\dot{\psi}_2| + (\alpha L_m k_{\psi} \gamma_{0\psi})|\psi_2| = (\alpha L_m k_{\psi} \gamma_{0\psi})|\psi_2|^{*} \tag{42}$$

що отримане після підстановки в третє рівняння системи (13) закону керування (37) з урахуванням (40), показує, що замкнута система є стійкою навіть при необмеженому збільшенні коефіцієнта підсилення

регулятора потокозчеплення $k_\psi \to \infty$. Згідно з критерієм Гурвіца коефіцієнти рівняння є додатними

$$(\alpha + \alpha L_m k_\psi) > 0; \quad \alpha L_m k_\psi \gamma_{0\psi} > 0. \tag{43}$$

Зі збільшенням коефіцієнта підсилення регулятора динамічні процеси в контурі потокозчеплення наближаються до бажаних (33). Це видно після ділення всіх членів рівняння (42) на складову $\alpha L_m k_\psi$ при $k_\psi \to \infty$.

Контур керування швидкістю складається з оптимізованого внутрішнього контуру моментної складової струму статора і локального об'єкта керування, що описується четвертим рівнянням системи (13). При розробці закону керування регулятора швидкості інерційність оптимізованого контуру струму може бути охарактеризована коефіцієнтом $\gamma_{0q}$ в разі закону керування струмом виду (32). Локальний об'єкт керування описується рівнянням першого порядку, що представляє інтегруючу ланку.

Порядок рівняння, за допомогою якого задається бажана якість замкнутого контуру швидкості, також приймається рівним одиниці із забезпеченням астатизму першого порядку $v=1$ та заданої добротністю по швидкості рівній $D_\omega^z = \gamma_{0\omega}$

$$\dot{z} + \gamma_{0\omega} z = \gamma_{0\omega} \omega^*. \tag{44}$$

Коефіцієнтом $\gamma_{0\omega} \approx 3 / t_{nn}$ задається необхідна тривалість $t_{nn}$ монотонного перехідного процесу швидкості.

Необхідно знайти керуючу функцію регулятора швидкості, щоб якість керування швидкістю $\omega$ наближалася до бажаної, заданої рівнянням (44). Ступінь наближення реального процесу до бажаного оцінюється функціоналом, який характеризує нормовану по моменту інерції енергію прискорення виду $\dot{W}_k = J \dfrac{\dot{\omega}^2}{2}$

$$G(i_{1q}^*) = \frac{1}{2}\left[\dot{z}(t) - \dot{\omega}(t, i_{1q}^*)\right]^2. \tag{45}$$

Мінімізація функціоналу, як і для контуру струму, здійснюється по градієнтному закону першого порядку

$$\frac{di_{1q}^*(t)}{dt} = -\lambda_\omega \frac{dG(i_{1q}^*)}{di_{1q}^*}, \tag{46}$$

де $\lambda_\omega > 0$ – константа.

Похідна функціоналу (45) дорівнює

$$\frac{dG(i_{1q}^*)}{di_{1q}^*} = -\frac{1}{J}\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2} |\psi_2| (\dot{z} - \dot{\omega}). \tag{47}$$

Після підстановки (47) в (46) знаходиться закон керування швидкістю

$$i_{1q}^{*}(t)=k_{\omega}(\dot{z}-\dot{\omega}), \tag{48}$$

де $k_{\omega}=\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|\lambda_{\omega}=const$ – коефіцієнт підсилення регулятора швидкості.

Змінна $\dot{z}$ в законі керування (48) виконує роль необхідного прискорення, яка визначається в реальному часі з рівняння бажаної якості (44) шляхом замикання зворотним зв'язком за швидкістю двигуна $z=\omega$

$$\dot{z}=\gamma_{0\omega}(\omega^{*}-\omega). \tag{49}$$

Остаточно закон керування швидкістю набирає вигляду після інтегрування обох частин рівняння (48) з урахуванням (49)

$$\begin{gathered} i_{1q}^{*}(t)=k_{\omega}(z-\omega)\ ; \\ z=\gamma_{0\omega}\int(\omega^{*}-\omega)dt. \end{gathered} \tag{50}$$

На підставі рівняння (50) будується регулятор швидкості типу 101, структурна схема якого має вигляд як на рис. 1. Регулятор швидкості (50) містить тільки параметр бажаного закону керування і не містить параметрів об'єкта керування (13), що характерно для класичних законів.

Зі збільшенням коефіцієнта підсилення регулятора швидкості динамічні процеси в контурі наближаються до бажаних, заданим рівнянням (44). Система згідно з критерієм Гурвіца є стійкою навіть при необмеженому збільшенні коефіцієнта посилення регулятора швидкості $k_{\omega}\to\infty$, що видно з рівняння замкнутого контуру швидкості

$$\ddot{\omega}+\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|k_{\omega}\dot{\omega}+\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|k_{\omega}\gamma_{0\omega}\omega=\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|k_{\omega}\gamma_{0\omega}\omega^{*}. \tag{51}$$

Передаточна функція розімкнутого контуру швидкості

$$W_r(p)=\frac{\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|k_{\omega}\gamma_{0\omega}}{p(p+\frac{1}{J}\frac{3}{2}p_n\frac{L_m}{L_2}|\psi_2|k_{\omega})} \tag{52}$$

показує, що система володіє заданим астатизмом $\nu=1$ та заданою добротністю по швидкості при помірних коефіцієнтах підсилення регулятора $k_{\omega}$. Останнє є наслідком наявності в локальному об'єкті керування інтегруючої складової.

Оцінка впливу неврахованої при синтезі інерційності контуру струму на динамічні властивості контуру швидкості здійснюється за допомогою характеристичного рівняння замкнутої системи

$$T_I T_0 p^3 + T_0 p^2 + k_\omega p + k_\omega \gamma_{0\omega} = 0, \quad (53)$$

де $T_I = 1/\gamma_{0q}$, $T_0 = 1/(\frac{1}{J}\frac{3}{2} p_n \frac{L_m}{L_2}|\psi_2|)$.

Згідно (53) для стійкості контуру швидкості слід дотримуватися наступної умови $\gamma_{0\omega} < \gamma_{0q}$. Таким чином, інерційність контуру струму обмежує бажану швидкодію контуру швидкості.

Отриманий закон керування швидкістю (50) забезпечує астатизм першого порядку за керуючим впливом. Якщо за технологічними умовами потрібно мати астатизм другого порядку *ν=2*, то закон керування синтезується за рівнянням бажаної якості виду (28), порядок якого на одиницю вище порядку рівняння локального об'єкта (*n=2; m=1*)

$$\ddot{z} + \gamma_{1\omega}\dot{z} + \gamma_{0\omega} z = \gamma_{1\omega}\dot{i}^*_{1q} + \gamma_{0\omega} i^*_{1q}. \quad (54)$$

В результаті закон керування швидкістю після синтезу по викладеній методиці набирає вигляду

$$\begin{aligned} i^*_{1q}(t) &= k[z - \omega]; \\ z &= \int f_0 dt; \\ f_0 &= \gamma_0 \int (\omega^* - \omega) dt + \gamma_1 (\omega^* - \omega). \end{aligned} \quad (55)$$

Структурна схема регулятора швидкості типу 212, що побудована за рівнянням (55), представлена на рис. 3. Цей регулятор також містіть тільки параметри бажаного закону керування $\gamma_{0\omega}$ та $\gamma_{1\omega}$, за допомогою яких встановлюється необхідній вид, значення перерегулювання і час перехідного процесу швидкості.

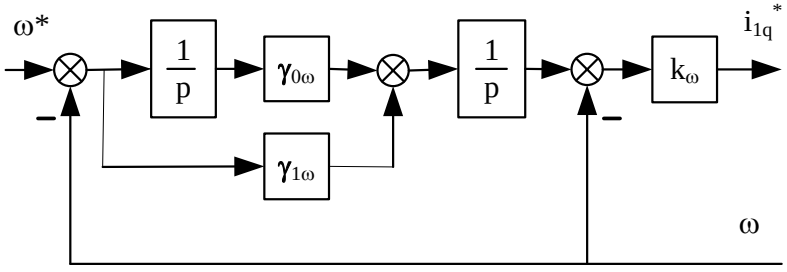



Рис. 3. Структура регулятора швидкості типу 212

Дослідження представленої системи векторного керування проведено при дії параметричного збурення у вигляді збільшення та зменшення вдвічі електричного опору обмотки ротора $R_2$ асинхронного двигуна типу 4A90L2Y3: $P_н$=3 кВт – номінальна потужність, $\omega_н$=300 рад/с – номінальна кутова швидкість; $R_1$=2,577 Ом, $R_2$=1,682 Ом, $L_1$=0,394 Гн, $L_2$=0,399 Гн – активний опір і індуктивність статора та приведена ротора; $L_m$=0,387 Гн –

індуктивність контуру намагнічування. Регулятори мають наступні параметри: потокозчеплення: $\gamma_{0\psi}$=50, $k_\psi$=100; польової складової струму: $\gamma_{0d}$=1000, $k_d$=500; швидкості: $\gamma_{0\omega}$=100, $k_\omega$=1; моментної складової струму: $\gamma_{0q}$=1000, $k_q$=500. Процес моделювання включав етап збудження двигуна, його пуску без навантаження на 0,5 с часу та накидання номінального навантаження на 3,5 с.

На рис. 4 представлено перехідні процеси швидкості, потокозчеплення ротора, а також їх похибок для трьох значень $R_2$: 1,682 Ом (паспортне); 0,841 Ом (удвічі менше); 3,364 Ом (вдвічі більше). Оцінка впливу зміни електричного опору двигуна на якість керування проведена на швидкості 50 рад/с, яка в шість разів менше за номінальну, коли негативні наслідки параметричного збурення проявляються найбільше. Як видно з рисунка, три графіка для трьох значень опору практично зливаються, а істотне для класичної системи параметричне збурення практично не впливає на якість керування швидкістю.

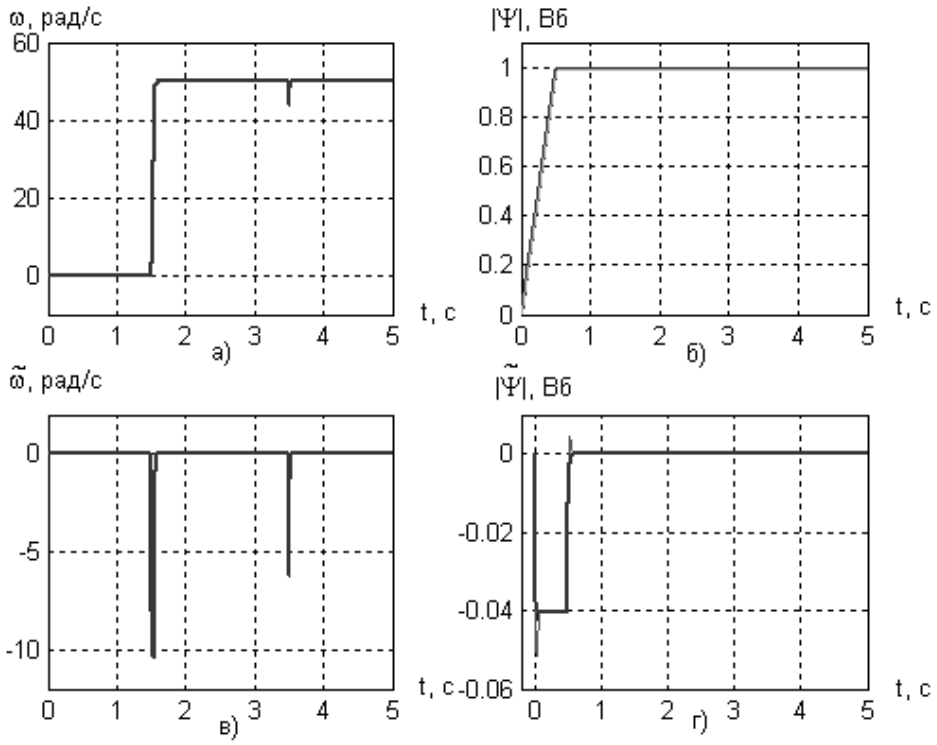



Рис. 4. Графіки перехідних процесів:
а) швидкості двигуна; б) потокозчеплення ротора;
в) похибки швидкості; г) похибки потокозчеплення

На рис. 5 показано графіки перехідних процесів моменту і модуля струму двигуна, як механічних і електричних змінних системи, що дозволяє зіставити ефективність роботи отриманих законів керування з класичними законами.

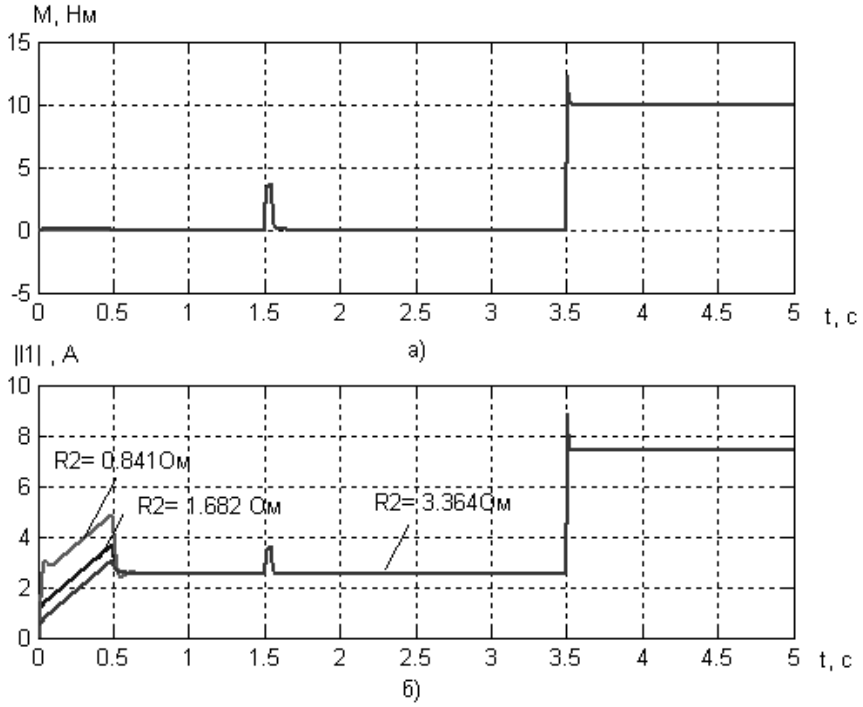



Рис. 5. Графіки перехідних процесів:
а) моменту двигуна; б) модуля струму статора

**Висновки**. Метод синтезу законів керування координатами електромеханічних систем на основі мінімізації локальних функціоналів миттєвих значень енергій в поєднанні з концепцією зворотних задач динаміки забезпечує високу якість керування в статичному режимі та під час перехідних процесів в умовах дії параметричних і координатних збурень без застосування додаткових алгоритмів адаптації. Для побудови структури регуляторів не потрібна детальна математична модель об'єкта керування. Закон керування записується за видом рівняння об'єкта таза диференціальним рівнянням, за допомогою якого задається бажана якість керування координатою. На прикладі широко розповсюдженого векторно-керованого асинхронного електропривода викладена методика отримання законів керування, а також проведено дослідження якості керування в умовах зміни вдвічі електричного опору обмотки ротора електродвигуна. Результати дослідження підтвердили високу якість керування, яку забезпечують запропоновані закони керування.

**Список використаних джерел**

1. *Уткин В. И.* Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. Москва: Наука, 1981. 368 с.

2. *Mostafa O., Oz H.* Chatter elimination in variable structure control maneuvering of flexible spacecraft. *The Journal of the Astronautically Sciences.* 1989. Vol. 37, N 4. P. 529-550.

3. *Мееров М. В.* Синтез структур систем автоматического управления высокой точности. Москва: Наука, 1967. 354 с.

4. *Потапенко Е. М.* Сравнительная оценка робастных систем управления с различными типами наблюдателей. *Изв. РАН. Теория и системы управления.* 1995. № 1. С. 109-117.

5. *Льюнг Л.* Идентификация систем. Теория для пользователя. Москва: Наука, 1991. 432 с.

6. *Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л.* Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами. СанктПетербург: Наука, 2000. 549 с.

7. *Крутько П. Д.* Робастно устойчивые структуры управляемых систем высокой динамической точности. Алгоритмы и динамика управления движением модельных объектов. *Изв. РАН. ТиСУ*. 2005. № 2. С. 120-140.

8. *Островерхов Н. Я., Бурик Н. П.* Управление координатами электроприводов на основании концепции обратных задач динамики при минимизации локальных функционалов мгновенных значений энергий. *Електротехніка та електроенергетика*. 2011. № 1. С. 41-49.

## ЗАКОНЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ В УСЛОВИЯХ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ И КООРДИНАТНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

**Островерхов Н. Я.**

***Аннотация*** – в статье приведен метод управления электромеханическими системами, который обеспечивает слабую чувствительность к изменениям параметров объекта управления и его динамическую декомпозицию. Решение задачи управления объектом в условиях параметрических и координатных возмущений классическими методами теории автоматического управления требует дополнительных алгоритмов идентификации, адаптации или компенсации. В статье предложен метод разработки законов управления на основе обратимости прямого метода Ляпунова для анализа устойчивости. Это позволяет определять законы управления, при которых замкнутый контур имеет заданную функцию Ляпунова в виде мгновенного значения энергии. Задачей обратной задачи динамики в сочетании с минимизацией мгновенного значения энергии является определение закона управления, который обеспечивает наперед заданное качество управления с необходимыми статическими и динамическими характеристиками системы. При этом особенность оптимизации заключается не в получении абсолютного минимума функционала качества, как это обычно используется в классических системах, а в получении определенной минимальной величины, которая обеспечит технически допустимую динамическую ошибку системы. Такой подход позволяет практически разрабатывать законы управления электромеханическими системами, которые обеспечивают заданное качество управления и простую практическую реализацию в условиях изменения параметров объекта управления и неопределенностей в математической модели. Полученные регуляторы имеют нетипичную структуру и не содержат параметров

объекта управления, в отличие от традиционных регуляторов. Это обеспечивает эффективную работу системы с меньшей чувствительностью к изменениям параметров объекта, а также простоту реализации системы управления. Результаты исследований подтвердили эффективность предложенных законов регулирования и показали их преимущества по сравнению с традиционными законами.

***Ключевые слова:*** электромеханическая система, возмущения, законы управления, качество управления, моделирование.

## CONTROL OF ELECTROMECHANICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF PARAMETRIC UNCERTAINTY AND COORDINATES' INTERRELATION

**M. Ostroverkhov**

***Summary***

A method of control of electromechanical systems, providing a low sensitivity to changes in the parameters of the control object and its dynamic decomposition is presented. Solution of the above mentioned problems by the classic methods of the automatic control theory, under the under conditions of uncertainties in a mathematical model, is rather complicated because requires additional algorithms of identification, adaptation or compensation. This paper is to propose the method of development of control laws based on an idea of the reversibility of the Lyapunov direct method for the stability analysis, and using the instantaneous value of energy as the predetermined Lyapunov function. The reverse task of dynamics is to identify the con-trol law which would ensure a given quality of control with desired static and dynamic performance of the system. The proposed method is based on an idea of the reversibility of the Lyapunov direct method for the stability analysis. This allows defining control laws which ensure that a closed loop has the predetermined Lyapunov function in form of the instantaneous value of energy. In this case, the specificity of optimization is not obtaining the absolute minimum of the quality functional, as usually used in traditional systems, but rather getting a certain minimal value which would assure a technically allowable dynamic error of the system.

This approach allows practical development of the controllers of the electro-mechanical system which would ensure a given quality of control and adequately simple practical realization under conditions of variation of the parameters of the controlled object and the uncertainties in a mathematical model. Produced regulators have non-traditional structure and do not contain parameters of control object, unlike traditional regulators. This will ensure effective operation with a lesser sensitivity to variations of the motor's parameters, as well as the simplicity of realization of control system. Results of experimental researches confirmed the effectiveness of proposed control laws and show their advantages compared to traditional laws.

***Key words*:** electromechanical system, disturbances, control laws, quality of control, modelling.

**УДК 631.588:635.652** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-35**

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКОЕНЕРГЕТИЧНОГО ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА КОРЕНЕВУ СИСТЕМУ КВАСОЛІ

**Сухін В. В., інж.,** **https://orcid.org/0000-0002-6554-3992**
**Лисиченко М. Л., д. т. н.** **https://orcid.org/0000-0003-1611-6705**
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
e-mail: VVS11101992@gmail.com, 1prlysychenko@ukr.net

***Анотація*** **–** представлено експериментальне дослідження з визначення активізаційного впливу низькоенергетичного лазерного випромінювання на фізіологічні показники (висота стебла, діаметр стебла) ростків квасолі, впливаючи на їх кореневу систему. Для проведення досліду був побудований лабораторний стенд, який включав в себе: пульт керування, резервуар з живильним розчином і тримачем для розміщення вирощуваної квасолі, джерела штучного освітлення рослин і конструкцію їх встановлення, блок аерації і лазерну установку. Резервуар з живильним розчином і тримачем представляв собою гідропонну установку основану на методі воднева культура і системі плаваюча платформа. Сам біостимуляційний розчин, вміщував у собі набір певних хімічних елементів і їх концентрацій для вирощування квасолі. Функціонування лабораторного стенду починалося з подачі загального живлення до пульта керування, а з нього подавались команди на вмикання джерел штучного освітлення рослин, блока аерації живильного розчину та лазерного пристрою. Також розроблена технологія лазерної обробки коренів ростків квасолі, яка основувалась на розділенні 30 ростків на 3 групи по 10 одиниць, перша і друга група опромінювалась лазером з відповідними параметрами довжини хвилі і дози, а третя являла собою контроль. Росток брався з відповідного ряду і розміщувався в скляній ємності над якою знаходився випромінювач на висоті 0,01 м, при цьому, чітко впливаючи на зону всмоктування кореневої системи, а потім знову повертався у вихідне положення. За результатами досліду отримано набір даних і побудовані діаграми, які свідчать про ефективність лазерного стимулювання коренів квасолі за встановленими фізіологічними показниками та мають відсотковий приріст більший ніж у контрольної групи.

***Ключові слова:*** лазерне випромінювання, довжина хвилі, енергетична доза, квасоль, гідропоніка, воднева культура, плаваюча платформа, висота стебла, діаметр стебла.

**Постановка проблеми.** Споруди захищеного ґрунту повинні виконувати забезпечення населення овочевою продукцією в несезонний (зимово-весняний) період року. Вирощування овочів в теплицях пов’язане зі значними енергетичними, матеріальними і трудовими витратами тому, для підвищення ефективності тепличного

© Сухін В. В., Лисиченко М. Л.

овочівництва потрібні вивчення, узагальнення і застосування нових технологій вирощування, науково-технічні здобутки в напрямку активізації фізіологічних процесів в біологічних об'єктах, що подовжує період надходження продукції і підвищує її якість [1, 2].

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз науково-технічної літератури показує, що для підвищення продуктивності і якості культур, вирощуваних в спорудах захищеного ґрунту, застосовують гідропонний спосіб, який базується на вирощуванні рослин без застосування ґрунту. Даний спосіб включає в себе певну кількість методів та систем, які володіють своїми перевагами і недоліками та різняться в застосуванні в залежності від виду культури. Останнім часом він набуває широкого застосування, як в нашій країні так і за її кордоном. Однак, за наявних переваг, він не дозволяє забезпечити потреби в овочевій продукції в повному обсязі. Вченими розробляються технології по збільшенню врожайності рослин в гідропонних установках на основі додавання мінеральних добрив різної концентрації до складу живильного розчину, але всі вони призводять до хімічної забрудненості плодів. Тому, постає необхідність в пошуку нових екологічно-чистих технологій інтенсифікації розвитку рослин в гідропоніці [3].

**Формулювання цілей статті.** Експериментально визначити вплив лазерного випромінювання на активізацію фізіологічних процесів в квасолі сорту «Сахарная», яка вирощується гідропонним способом, з довжинами хвиль та дозами опромінення $\lambda_1 = 405$ нм, $W_1 = 0{,}1$ Дж і $\lambda_2 = 658$ нм, $W_2 = 0{,}4$ Дж.

Досягнення цілі пов'язане з виконанням наступних задач: побудови лабораторного стенду для проведення досліду, розробки приладів і системи опромінювання кореневої системи квасолі.

**Основні матеріали дослідження.** Для проведення експериментального дослідження був створений лабораторний стенд, що складався з: пульта керування 1; резервуара з живильним розчином і тримачем для розміщення вирощуваних рослин в ньому 2; джерел штучного освітлення рослин і конструкції їх встановлення 3; блока аерації живильного розчину 4; лазерної установки 5 (рис. 1).

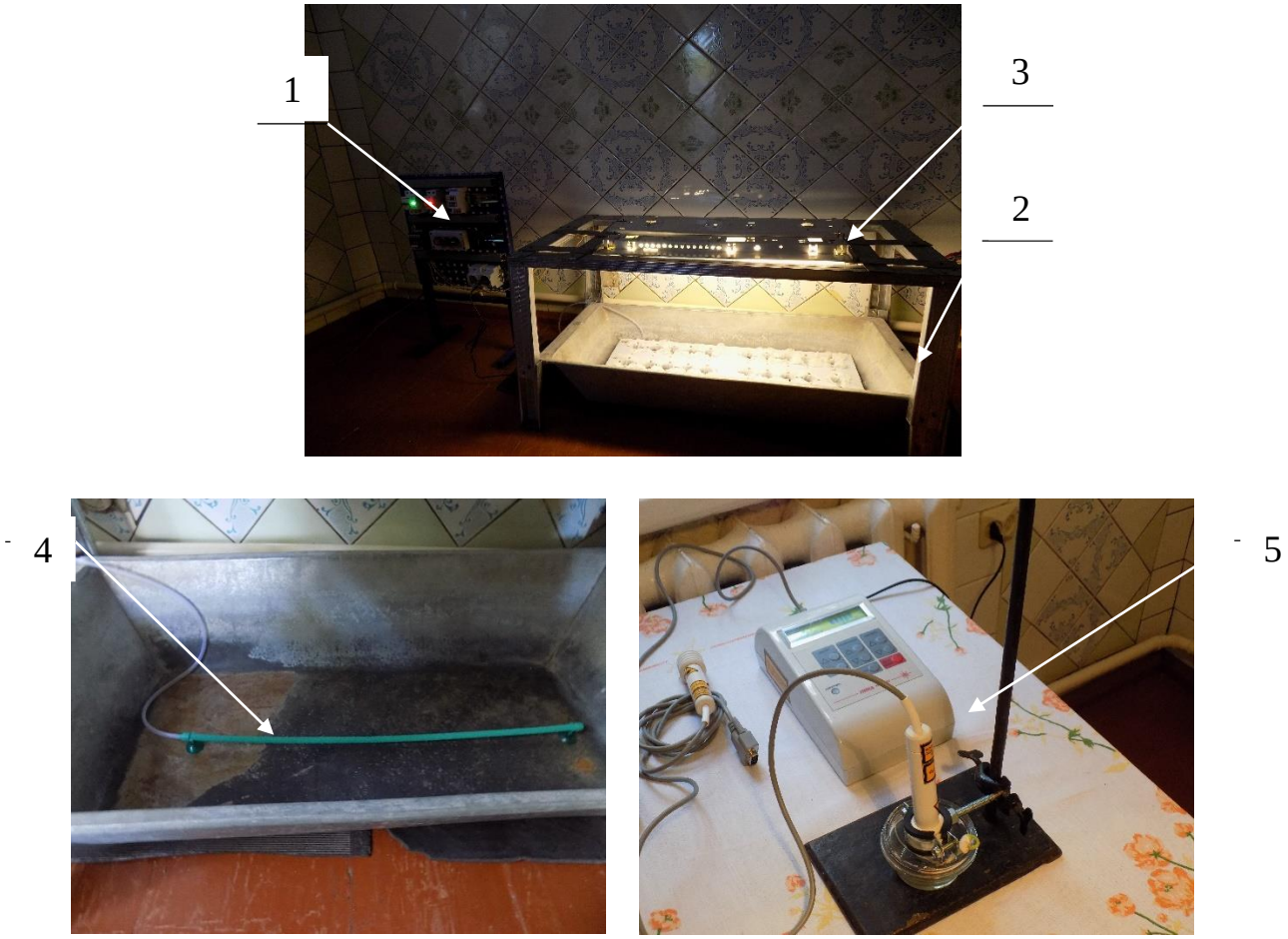



Рис. 1. Загальний вигляд лабораторного стенда

До складу пульту керування входили: автоматичний вимикач найменування iC60N з параметрами B6A 2P, призначений для підключення до мережі та захисту від струмів короткого замикання і перевантаження; автоматичний вимикачсерії ВА47-29 з технічними параметрами В 6А 1Р, який виконує функцію подачі живлення до кола керування і його захисту від ненормальних режимів роботи; сигнальна лампа найменування ЛС47М (230В, 0,5 Вт) у кількості двох одиниць для сигналізації наявності живлення в силовому колі і колі керування; електромагнітний контактор серії КМІ-11210(230В, 12А), призначений для комутації кола живлення освітлення; кнопковий пост на три місця з двома контактами типу N/O+N/C і сигнальною лампою, який забезпечує в ручному режимі вмикання та вимикання електромагнітного контактору; електронне реле часу найменування ТМ41 (240В, 16А), що необхідне для автоматичного включення і відключення штучного освітлення рослин в певні періоди часу доби; багатополюсний перемикач найменування ПКП10 (230В,10А), необхідний для перемикання ручного і автоматичного режиму керування освітлення; дві розетки (230В, 16А), для підключення блока аерації та лазерної установки; ввідного кабелю з вилкою для загальної

подачі живлення до пульту, а також провідників для з'єднання електричних пристроїв.

Резервуар з живильним розчином і тримачем для розміщення рослин в ньому, мав вигляд ємності розміром 0,29х0,71х0,18 м і об'ємом 40 л, яка наповнювалась біостимуляційним розчином з набором таких макроелементів: азот ($NH_2$)7,5 г/л, фосфор ($P_2O_5$) 5 г/л, калій ($K_2O$)5г/л, цинк ($Zn$)0,24 г/л, мідь ($Cu$)0.22 г/л, молібден ($Mo$)0,024 г/л, кобальт ($Co$)0,012 г/л; мікроелементів: бор ($B$) 0,25 г/л, залізо ($Fe$)0,31 г/л, марганець ($Mn$)0,25 г/л; вітамінів: ($B_1$)-48, ($C$)-134, ($PP$)-115; гуматів: 11 г/л, янтарна кислота 96 мг/л; амінокислот: метіонін-40, гліцин-40, лізин-134, триптофан-48, необхідних для росту квасолі, і пінополістиролової плити розміром 0,3х0,73х0,015 м із отворами діаметром 0,04 м у кількості 30 одиниць, в 3 ряда по 10 одиниць на кожний, з відступом між отворами 0,06 м та міжрядковим кроком 0,1 м, в які закріплювалась марля і встановлювався росток квасолі. Перший ряд оброблювався низькоенергетичним лазерним випромінювання з параметрами $\lambda_1 = 405$ нм $W_1 = 0{,}1$Дж, – $\lambda_2 = 658$ нм $W_2 = 0{,}4$Дж, – представляв собою контрольну вибірку.

Установка для досвічування складається із 4 люмінесцентних ламп типу ЛБ 20-1 з технічними даними 20Вт 1060лм; пуско-регулюючої апаратури: дросель типу 2УБИ-20/220-ВПП-110-УХЛ4 (20Вт 220В), у кількості 2 одиниць; стартер найменування 4-22W 220-240V~Seriesз параметрами 4-22Вт 220-240В, у кількості 4 одиниць; 2 компенсуючих конденсаторів та металевої конструкції їх розміщення з розмірами 0,5х0,99х0,5 м. Каркас встановлювався над резервуаром з вирощуваною квасолею.

Блок аерації живильного розчину компонувався кисневим компресором найменування Sonic 9908 з (220/240В 6Вт 480 л/год), необхідним для забезпечення киснем кореневої системи квасолі, яка знаходиться в живильному розчині гідропонної установки; гумовим патрубком для передачі кисню від компресора до розпилювача повітря; зворотним клапаном, який упереджував виток води з резервуару через компресор і самим розпилювачем з мінерального каменю довжиною 0,6 м, який створював рівномірне насичення киснем по всьому об'єму розчину.

В якості лазерної установки застосовувався апарат «Ліка-терапевт», який комплектувався електронним блоком з такими технічними параметрами: число одночасно працюючих каналів 1; частота модуляції лазерного випромінювання 0,1-99,9Гц$\pm$10%; час випромінювання від 1 хв до 99хв 59с; реєструєма доза випромінювання 0,01-99,9Дж$\pm$20%, споживана потужність 15Вт; живлення 220В 50 Гц; виносними рукоятками типу ВРВ1 з даними:

оптичний діапазон – фіолетовий, довжина хвилі 405нм, максимальна потужність випромінювання 50мВт; BPB5 з даними: оптичний діапазон – червоний, довжина хвилі 658 нм, максимальна потужність випромінювання 250мВт.

Відповідно класифікації гідропонних установок[2], резервуар з живильним розчином і тримачем для утримання вирощуваної квасолі, відносимо до методу воднева культура і системи плаваюча платформа. Дослідження починалося із наповнення живильним розчином, з певним набором хімічних елементів і їх концентрації, перелічених вище, резервуару. На водну поверхню резервуару встановлювали тримач з отворами у які розміщували ростки квасолі пророщеної 3 дні на ватному диску. Далі, подавалось загальне живлення до пульту керування і вмикався автоматичний вимикач iC60N, який підводив напругу до силового кола. Багатополюсний перемикач ПКП10, встановлювався в положення автоматичного керування системою освітлення рослин і обирались необхідні параметри роботи електронного реле часу ТМ41 для створення потрібного світлового режиму вирощуваної культури. Вмикався автоматичний вимикач ВА47-29, що забезпечував напругою коло керування. Наявність напруги у цьому колі, давала можливість реле часу через свій керуючій контакт, вмикати електромагнітний контактор КМІ-11210 і тим самим створювати живлення ламп освітлення рослин, забезпечуючи при цьому 18 годинний світловий день, а потім після сплину часу відмикати його. Прийнята циклічність повторювалась на протязі 7 днів. Потім, з пульту, вмикався блок аерації, який через патрубок посилав кисень до розпилювача,наявного у живильному розчині для збагачення киснем кореневої системи квасолі.

Для опромінення коренів квасолі вирощуваних в гідропонній установці була створена така технології: з першого ряду брався росток квасолі і укладався в скляну ємність над якою розміщувався випромінювач на висоті $h = 0,01$см для створення можливості передачі запланованої дози, впливаючи на зону всмоктування кореня, з параметрами самої дози електромагнітної енергії $W_1 = 0,1$Дж, що встановлювались на електронному блоці апарату і довжиною хвилі електромагнітного випромінювання $\lambda_1 = 405$ нм, яка забезпечувалась типом рукоятки BPB1. Після опромінення росток повертався до установки, і так послідовно по кожному із 10 одиниць у ряді. Потім, у той же спосіб опромінювався і другий ряд, але з іншими параметрами дози $W_2 = 0,4$Дж, і довжини хвилі $\lambda_2 = 658$ нм кількістю 10 одиниць у ряді. Третій ряд виконував функцію контроля з тією же кількістю ростків. Загальна вибірка досліджуваних ростків склала 30 одиниць. Опромінення відбувалося раз на добу, у вечері, починаючи з першого

дня висадки і тривало 7 днів.Умови процесу лазерної обробки коренів ростків квасолі представлено на рис. 2.



Рис. 2. Зображення процесу лазерної обробки кореневої системи квасолі «Сахарная»

Кожного дня експерименту, проводився контроль значень повного солевмісту на одиницю об'єму, який повинен був дорівнювати $ppm = 300$ та показника ступеню кислотності або лужності, що мав складати $ph = 6,5$ живильного розчину. Вигляд ростків квасолі в перший день досліду зображений на рис.3.



Рис. 3. Вигляд ростків квасолі на початок досліду

Активізація фізіологічних процесів в квасолі фіксувалася за показниками середньої висоти і середнього діаметру стебла. У результаті виконання експериментального дослідження був отриманий набір даних, на основі яких були побудовані, гістограма залежності середньої висоти стебла $x_{ср.вис.}$ см від дня експерименту та постійних параметрів електромагнітного випромінювання для першого ряду ростків $\lambda_1 = 405$ нм, $W_1 = 0,1$ Дж, для другого ряду ростків $\lambda_2 = 658$ нм, $W_2 = 0,4$ Дж і контролю (рис. 4), а також

гістограма залежності середнього діаметру стебла $x_{ср.діа.}$ см від дня експерименту та постійних, приведених вище, рис. 5. Для побудови діаграм застосовувалась інформація по програмі Excel 2013 [3].

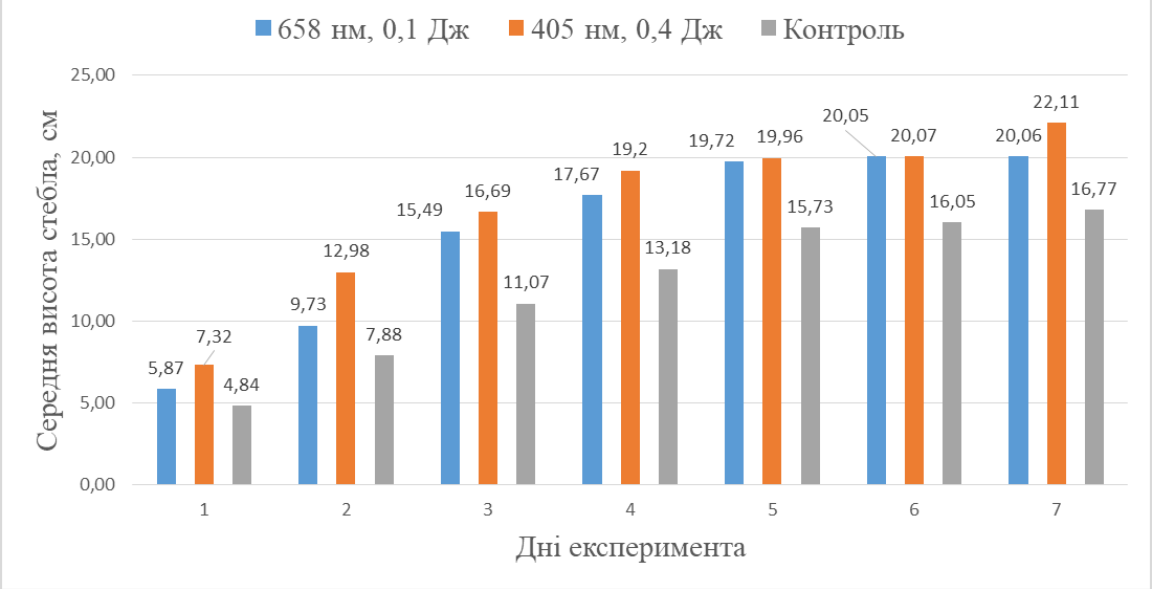



Рис. 4. Гістограма залежності середньої висоти стебла від дня експерименту і постійних параметрів електромагнітного випромінювання для кожного ряду ростків

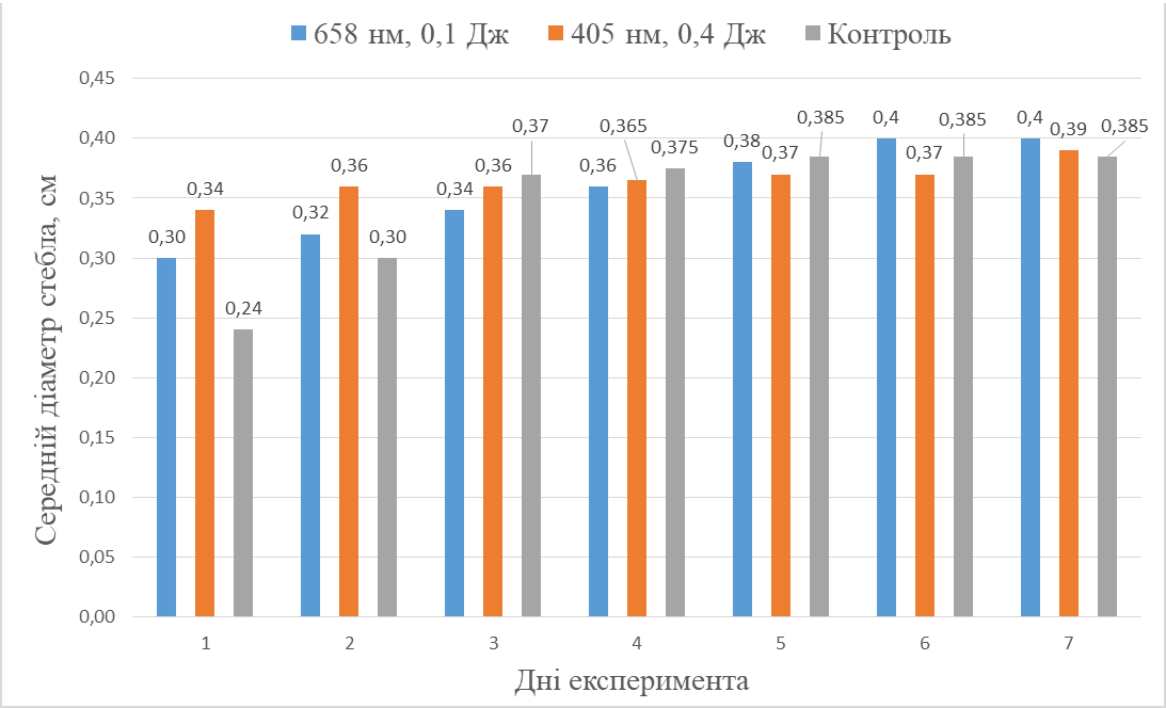



Рис. 5. Гістограма залежності середнього діаметру стебла від дня експерименту і постійних параметрів електромагнітного випромінювання для певного ряду ростків

Аналізуючи приведену гістограму можна сказати, що зі збільшенням тривалості експерименту велична $x_{ср.вис.}$ підвищується і при завершенні досліду є найбільшою по всім групам ростків, однак $x_{ср.вис.}$ ростків, коріння яких перебувало під впливом лазерного випромінювання є більшими від контрольної вибірки, а найбільше значення $x_{ср.вис.}$ досягається при $\lambda_1 = 405$ нм, $W_1 = 0,1$Дж і спадає. Окрім цього, спостерігався найбільший стрибок в значеннях при переході від першого до другого, і від другого до третього дня експерименту по кожному ряду.

Розглядаючи дану гістограму можна зробити висновок, що так, як і у попередній, збільшення дня експерименту призводить до поступового збільшення $x_{ср.діа.}$ по всім досліджуваним групам ростків квасолі, з наявною постійністю на 2, 3 день у другому ряді, на 5, 6 день у другому і третьому ряді, а також на 6, 7 день у першому ряді і контрольному. Величина $x_{ср.діа.}$ ростка де корінь оброблювався лазерним випромінюванням є більшою, у порівнянні з контрольною групою, найбільший $x_{ср.діа.}$ досягається вже на 6 день досліду, при $\lambda_2 = 658$ нм, $W_2 = 0,4$Дж.

**Висновок.** Застосування низькоенергетичного лазерного випромінювання з параметрами $\lambda_1 = 405$ нм, $W_1 = 0,1$Дж для обробки кореневої системи квасолі «Сахарная» приводить на 7 день до $x_{ср.вис.} = 20,1$ см, що на 29 % більше від контроля і $x_{ср.діа.} = 0,4$ см, на 5 % більшого від контроля. Використання параметрів $\lambda_2 = 658$ нм, $W_2 = 0,4$Дж, приводить на 7 день до $x_{ср.вис.} = 22,1$ см, що на 32 % більше від контроля та $x_{ср.діа.} = 0,39$ см, на 3 % більша від контроля. Тобто, отримані результати показують, що величина відсотка фізіологічних показників активізації квасолі при різних параметрах електромагнітного випромінювання різна, при одних параметрах показник середнього діаметру стебла більший, а показник середньої висоти стебла менший, а при інших навпаки. Таким чином, можна зробити висновок, що застосування низькоенергетичного лазерного випромінювання дає збільшення значень окремих показників квасолі, але потребує подальших дослідів і з'ясування чітких параметрів обробки для сумісного впливу на всі ростові показники квасолі.

**Список використаних джерел**

1. Стратегія розвитку сільськогосподарського виробництва в Україні на період до 2025 року / за ред. НААН Я. М. Гадзала, М. І.

Бащенка, В. М. Жука, Ю. О. Лупенка. Київ: Аграрна наука, 2016. 216 с.

2. Тваринництво України: стан, проблеми, шляхи розвитку (1991-2017-2030 рр.) / за ред. М. І. Бащенка. Київ: Аграрна наука, 2017. 160 с.

3. *Лавренко С. С.* Ефективність застосування активованої води при вирощуванні огірків методом гідропоніки. *Вісник Державного агроекологічного університету.* 2005. № 2(15). С. 52-57.

4. *Сухін В. В., Лисиченко М. Л.* Визначення методу і системи із загальної класифікації гідропонних установок для ефективного використання лазерної обробки кореневої системи рослин. *Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка*. 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 141-144.

5. *Лебедев А.* Понятный самоучитель Excel 2013. Санкт-Петербург: Питер, 2014. 128 с.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОРНЕВУЮ СИСТЕМУ ФАСОЛИ ВЫРАЩИВАЕМУЮ ГИДРОПОННЫМ СПОСОБОМ ДЛЯ ВЫЯСНЕНИЯ АКТИВАЦИОННОГО ЭФФЕКТА ЕЁ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Сухин В. В., Лисиченко Н. Л.**

***Аннотация*** – в данной статье представлено экспериментальное исследование по определению активационного влияния низкоэнергетического лазерного излучения на физиологические показатели (высота стебля, диаметр стебля) ростков фасоли, влияя на их корневую систему. Для проведения опыта был построен лабораторный стенд, который включал в себя: пульт управления, резервуар с питательным раствором и держателем для размещения выращиваемой фасоли, источники искусственного освещения растений и конструкцию их установки, блок аэрации и лазерную установку. Резервуар с питательным раствором и держателем представлял собой гидропонную установку основанную на методе водная культура и системе плавающая платформа. Сам биостимулирующий раствор, включал в себя набор определенных химических элементов и их концентраций для выращивания фасоли. Функционирование лабораторного стенда начиналось с подачи общего питания к пульту управления, а с него подавались команды на включение источников искусственного освещения растений, блока аэрации питательного раствора и лазерного устройства. Также разработана технология лазерной обработки корней ростков фасоли, которая основывалась на разделении 30 ростков на 3 группы по 10 штук, первая и вторая группа облучалась лазером с соответствующими параметрами длины волны и дозы, а третья представляла собой контроль. Росток брался из соответствующего ряда и размещался в стеклянной емкости над которой находился излучатель на высоте 0,01 м, при этом, четко воздействуя на зону всасывания корневой системы, а затем снова возвращался в исходное положение.

По результатам опыта, получено набор данных и построены диаграммы, свидетельствующие об эффективности лазерного стимулирования корней фасоли по установленным физиологическим показателям, которые имеют процентный прирост больше, чем у контрольной группы.

***Ключевые слова:*** лазерное излучение, длина волны, энергетическая доза, фасоль, гидропоника, водная культура, плавающая платформа, высота стебля, диаметр стебля.

## EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECT OF LOWNONORGANIC LASER RADIATION ON THE CORNER SYSTEM OF QUASIUM GROWED BY HYDRAULIC METHOD FOR THE DISCLOSURE OF THE ACTIVATIVE EFFECT OF ITS PHYSIOLOGICAL PROCESSES

**V. Sukhin, M. Lysychenko**

***Summary***

This paper presents an experimental study to determine the activation effect of low-energy laser radiation on physiological parameters (height of stem, stem diameter) of bean germs, affecting their root system. A laboratory stand was built for the experiment, which included a control panel, a nutrient solution reservoir and a holder for placement of cultivated beans, sources of artificial lighting of plants and the design of their installation, aeration unit and a laser installation. The reservoir with nutrient solution and holder was a hydroponic plant based on the hydrogen culture method and the system-floating platform. Biostimulation solution itself, containing a set of certain chemical elements and their concentrations for growing beans. The operation of the laboratory bench began with the supply of a general supply to the control panel, and from it were given commands for switching on the sources of artificial lighting of plants, aeration unit nutrient solution and laser device. Also developed is the technology of laser treatment of the roots of bean germs, which was based on the division of 30 germs into 3 groups of 10, the first and second group was irradiated with a laser with appropriate parameters of wavelength and dose, and the third was a control. The germ was taken from a corresponding row and placed in a glass container above which was an emitter at an altitude of 0.01 m, while clearly affecting the absorption zone of the root system, and then again returned to its original position. According to the results of the experiment, a set of data was obtained and diagrams were constructed, indicating the effectiveness of laser stimulation of the beans roots according to established physiological parameters, which have a percentage increase greater than that of the control group.

***Key words:*** laser radiation, wavelength, energy dose, beans, hydroponics, hydrogen culture, floating platform, stem height, diameter of stem.

**УДК 662.756.3** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-36**

# ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЧНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕВОГО БІОПАЛЬНОГО: КОНСТРУКЦІЯ І ПАРАМЕТРИ

**Кушлик Р. Р., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-0922-8496**
**Кушлик Р. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-7560-9406**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: kushlykroman@ukr.net

***Анотація*** **–** розроблено конструкцію електротехнологічного комплексу і визначено параметри обробки сумішевого біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем. В роботі приведено загальний вигляд електротехнологічного комплексу, загальний вигляд електротехнологічного комплексу з середини і розроблену схему електричну принципову комплексу.

По функціональному призначенню електротехнологічний комплекс складається із трьох основних частин: блоку перемикачів режимів роботи, НВЧ електромагнітного блоку, ультразвукового блоку.

Основними елементами НВЧ блоку є амперметр НВЧ генератора, високовольтний мережевий трансформатор, високовольтний діод, високовольтний конденсатор, НВЧ фільтр, випрямляч, блок подвоєння напруги, магнетрон, блок вмикання і вимикання магнетрона, НВЧ камера для обробки біопального, антена, вентилятор.

Основними елементами ультразвукового блоку є ультразвуковий генератор, магнітостриктор, блок живлення, блок підмагнічування, трансформатор, випрямляч, вольтметр (амперметр) УЗ генератора, блок перемикання вольтметра на амперметр, дросель УЗ генератора, амперметр підмагнічування.

***Ключеві слова:*** дизельне пальне, метиловий ефір ріпакової олії, сумішеве біопальне, електротехнологічний комплекс, ультразвук, надвисокочастотне електромагнітне поле, магнітостриктор, магнетрон.

**Постановка проблеми.** Створення пального для дизелів із органічної сировини дозволить трансформувати рослинництво із галузі, яка є основним споживачем нафтопродуктів, в галузь, яка випускає екологічно чисте пальне із поновлених джерел енергії [1].

Використання біодизельного пального в Україні офіційно дозволене національним стандартом ДСТУ 4840:2001 «Паливо дизельне підвищеної якості. Технічні умови». Як показує практика при збільшенні метилового ефіру ріпакової олії (МЕРО) в дизельних паливах більше 7% підвищується в'язкість пального і як наслідок

© Кушлик Р. Р., Кушлик Р. В.

відбувається закоксованість паливної апаратури, зниження потужності дизеля, підвищені витрати палива.

Для покращення функціональних властивостей сумішевого біопального в склад якого входить більше 7% МЕРО розроблено електротехнологічний комплекс для обробки пального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем і визначено параметри обробки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Аналіз установок та пристроїв для виробництва сумішевого біопального показує, що вони мають ряд серйозних недоліків. Так в роботах Бурякова А. С., Лискутіної А. П, Малахова К. С., Шматок О. І., Фокіна Р. В., Громакова А. В., Кіреєва Н. С. та інших дослідників показано, що основні із них, це: неможливість проведення безперервного процесу, велика маса та габарити, недостатньо якісне перемішування суміші, малий термін зберігання приготовленого біопального, його розшарування.

**Формулювання цілей статті** (постановка завдання). В статті поставлена задача розробити конструкцію електротехнологічного комплексу, схему електричну принципову і визначити параметри обробки біопального.

**Основні матеріали дослідження** (основна частина). Для переводу автотракторної техніки, що серійно випускається на сумішеве біопальне необхідно модернізувати штатні системи живлення дизелів, або використовувати різноманітні методи та установки для покращення функціональних властивостей біопального.

Ультразвукова обробка є діючим методом покращення фізичних, хімічних, теплотворних і експлуатаційних властивостей біопального. Вплив ультразвуку на біопальне обумовлено ефектом кавітації, тобто виникненням в рідині пульсуючих бульбашок, заповнених газом [2-4]. Після короткочасного існування частина бульбашок закривається, при цьому спостерігається локальне миттєве підвищення тиску і температури [5,6]. Поєднання таких різнорідних фізичних процесів, що впливають одночасно на оброблюване біопальне, сприяє інтенсивній обробці і отриманню однорідної дисперсної емульсії.

Особливий інтерес з точки зору покращення функціональних властивостей сумішевого пального викликає дія на біопальне НВЧ електромагнітного поля. НВЧ електромагнітне поле впливає на молекули дизельного пального і МЕРО, які знаходитися у нафтопродукті. При опроміненні сумішевого пального НВЧ частотою 2,45 ГГц молекули дизельного пального і метил ефіру ріпакової олії починають різко коливатися. В результаті цих процесів йде тертя між молекулами і за рахунок тертя утворюється тепло. Воно і розігріває

біопальне. Робоча частота магнетрона співпадає з частотою резонансу молекул біопального, тому молекули починають рухатися дуже швидко і виникає реакція кипіння, або випаровування [7-10].

Для обробки сумішевого біопального в виробничих умовах було виготовлено електротехнологічний комплекс, загальний вигляд якого показано на рис.1.




Рис. 1. Передня панель електротехнологічного комплексу для обробки сумішевого біопального

Загальний вигляд комплексу з середини показано на рис. 2.

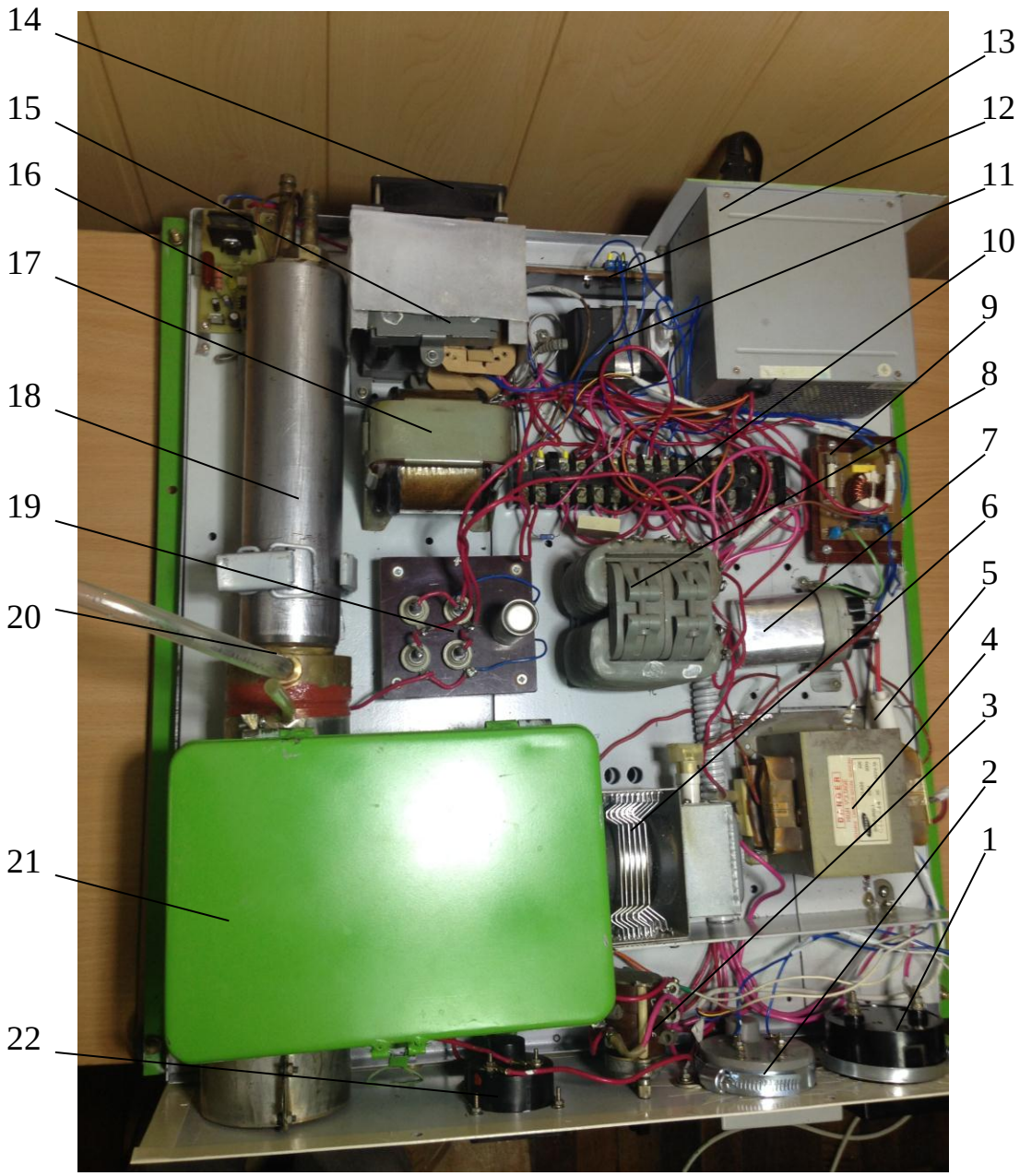



Рис. 2. Загальний вигляд електротехнологічного комплексу з середини: 1 – амперметр НВЧ генератора; 2 – вольтметр (амперметр) УЗ генератора; 3 – перемикач; 4 – високовольтний трансформатор; 5 – високовольтний діод; 6 – магнетрон; 7 – високовольтний конденсатор; 8 – трансформатор; 9 – НВЧ фільтр: 10 – клемна колодка; 11 – блок живлення; 12 – блок перемикання вольтметра на амперметр; 13 – УЗ генератор; 14 – вентилятор; 15 – дросель УЗ генератора; 16 – блок вмикання і вимикання магнетрона; 17 – дросель; 18 – магнітостриктор; 19 – випрямляч; 20 – горловина для заливання біопального; 21 – НВЧ і УЗ камера для обробки біопального; 22 – амперметр підмагнічування

Схема електрична принципова електротехнологічного комплексу для обробки біопального представлена на рис. 3.

Дану схему можна умовно поділити на 3 блоки:

I – блок перемикачів режимів роботи;

II – НВЧ електромагнітний блок;

III – ультразвуковий блок.

Блок перемикачів режимів роботи SA1(a) і SA1(b) призначений для вибору необхідного режиму роботи, а саме НВЧ, УЗ блоків і сумісного НВЧ+УЗ блоків.

НВЧ блок складається із вимірювальної головки PA1 (1–10В), мережевого фільтра L1, C1, C2, C3, вентилятора охолодження магнетрона M1, високовольтного трансформатора TV1, випрямляючого діода VD5 і конденсатора C4 для живлення магнетрона і сам магнетрон VL1. На вході до мережевого фільтра підключено блок A1 для регулювання потужності магнетрона.

Принцип дії НВЧ генератора наступний: перемикачем SA1(b) через блок керування потужністю магнетрона A1 поступає змінна напруга 220В через мережевий фільтр на високовольтний трансформатор TV1. Обмотка №2 трансформатора TV1 живить накал магнетрона змінною напругою 3,15В.

З обмотки №3 через конденсатор C4 і діод VD5 напруга 4 кВ подається на магнетрон, який випромінює в НВЧ камеру високочастотні імпульси. Для регулювання потужності магнетрона служить блок A1, принцип дії якого заключається в подачі напруги з певним інтервалом на трансформатор TV1.

Ультразвуковий блок складається із блока підмагнічування, блока УЗ генератора з фільтром і вимірювального блока.

Блок підмагнічування складається із регулятора потужності A2, трансформатора TV2, випрямних діодів VD1–VD4, конденсатора C5, вимірювальної головки PA2, дроселя L1.

В блок ультразвукового генератора входить сам блок УЗ генератора і фільтр на 22кГц зібраний на конденсаторі C6 і дроселі L3.

Вимірювальний блок складається із вимірювальної головки PA3, випрямних діодів VD6–VD9, резисторів R2– R5 і перемикача SA2 режиму вимірювання напруги і струму.

Принцип дії блоку підмагнічування. З перемикача SA1(a) змінна напруга поступає на трансформатор TV2 через регулятор потужності A2. Регулятором потужності A2 регулюється вихідна напруга з трансформатора TV2, тим самим змінюючи струм підмагнічування. L1.

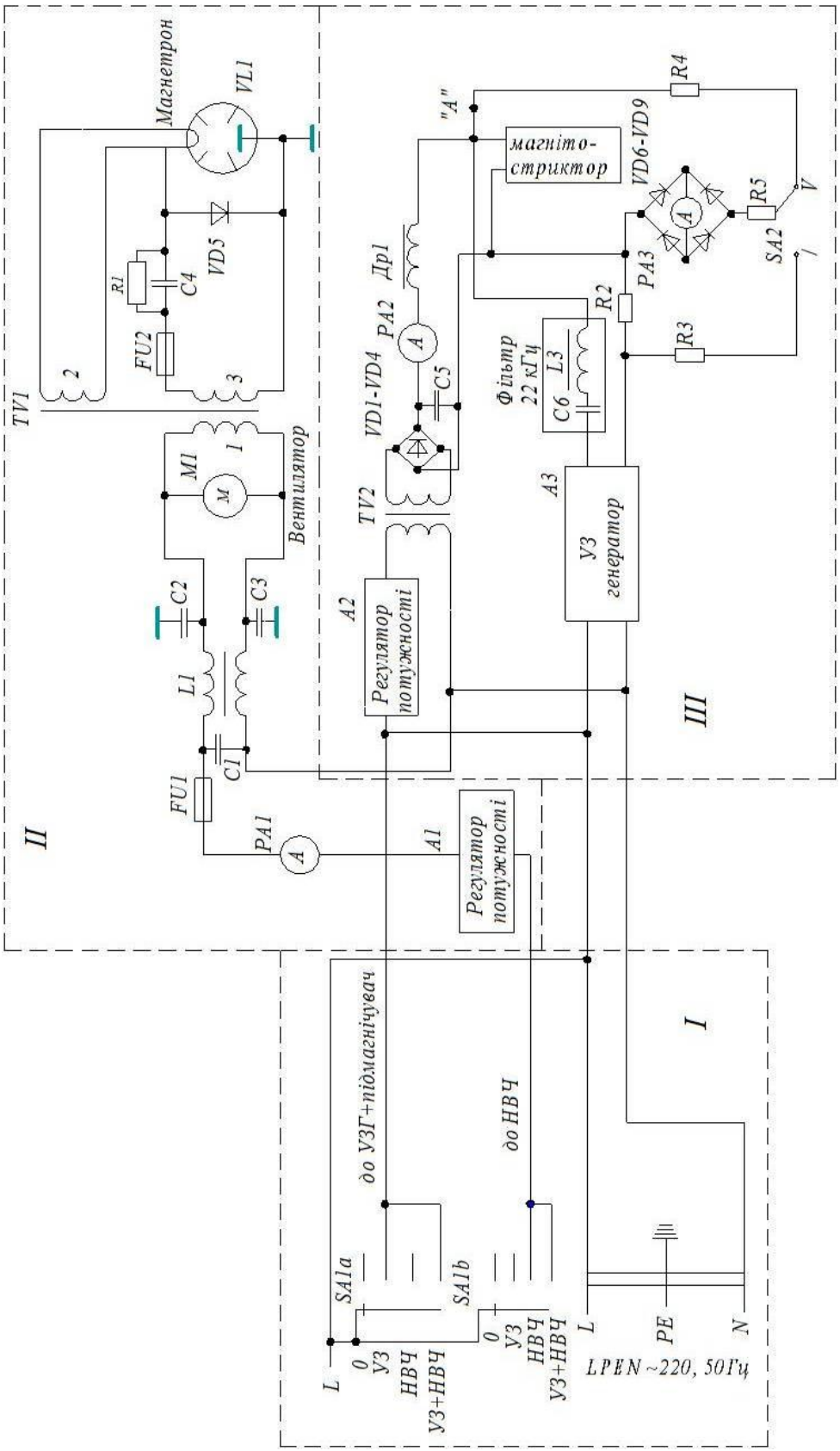



Рис. 3. Схема електрична принципова електротехнологічного комплексу для обробки біопального

З трансформатора TV2 понижена напруга поступає на випрямний міст VD1–VD4 і конденсатор С5. Випрямлена напруга подається на магнітостриктор через вимірювальну головку РА2 (0–5А) і дросель Даний дросель призначений для блокування проходу високочастотної змінної напруги з УЗ генератора. Регулятором потужності задається необхідний струм підмагнічування (біля 2,5А).

Встановлено, що обробку сумішевого біопального в електротехнологічному комплексі необхідно проводити при наступних технологічних параметрах: значення резонансної частоти ультразвуку повинна бути 22,8 кГц. Відхилення частоти від резонансної на 100 Гц призводить до відхилення потужності на 10%, тому необхідно підтримувати частоту ультразвуку з точністю не менше 0,5%. Інтенсивність ультразвуку повинна бути 5 Вт/см$^2$; потужність ультразвуку в камері – 45 Вт; потужність НВЧ електромагнітного поля – 100 Вт із скважністю роботи 35%; час обробки ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем – 5 хвилин при масі біопального – 600 мл,

**Висновки.** Недоліком практично всіх існуючих технологій обробки сумішевого біопального є використання ємнісних апаратів з перемішуючими пристроями, у яких неможлива суттєва інтенсифікація тепломасообмінних процесів. Для отримання якісного біодизельного пального розроблено електротехнологічний комплекс для обробки біопального ультразвуком і НВЧ електромагнітним полем з метою покращення функціональних властивостей біопального.

**Список використаних джерел**

*1. Передерій Н. О.* Ріпак – стратегічна культура для біоенергетики України. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. 2008. № 131. С. 300-304.

*2. Ноздрев В. Ф., Федорищенко Н. В.* Молекулярная акустика. Москва: Высшая школа, 1974. 320 с.

*3.* Ультразвук. Маленькая энциклопедия / под ред. И. П. Голяминой. Москва: Советская энциклопедия, 1979. 400 с.

*4. Бергман Л.* Ультразвук и его применение в науке и технике / под ред. В. С. Григорьева, Л. Д. Розенберга. Москва: Изд–во Иностранной Литературы, 1957. 726 с.

*5. Исакович М. А*. Общая акустика. Москва: Наука, 1973. 330 с.

*6. Басович А. В., Морозов А. П., Назаренко А. Ф.* Акустика и ультразвуковая техника. Киев: Техника, 1976. 228 с.

*7. Ковалева Л. А., Зиннатуллин Р. Р.* Исследование устойчивости водонефтяной эмульсии в электромагнитном поле в зависимости от

её диэлектрических свойств. *Известия вузов. Нефть и газ.* 2010. № 2. С. 59-63.

*9. Kovaleva L., Zinnatullin R., Minnigalimov R.* Dehydrating of heavy crude oil using radiofrequency and microwave radiation: what is better? *Petroleum Phase Behavior and Fouling.* Proc. 11th Annual International Conference. N. Y., 2010. N 031.

10. *Комаров В. В.* Формулировки математических моделей процессов взаимодействия электромагнитных волн с диссипативными средами в СВЧ–нагревательных системах. *Физика волновых процессов и радиотехнические системы.* 2010. Т. 13, № 4. С. 57–63.

## ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ СМЕСЕВОГО БИОТОПЛИВА – КОНСТРУКЦИЯ И ПАРАМЕТРЫ

**Кушлык Р. Р., Кушлык Р. В.**

***Аннотация*** - разработана конструкция электротехнологического комплекса и определены параметры обработки смесевого биотоплива ультразвуком и СВЧ электромагнитным полем. В работе приведен общий вид электротехнологического комплекса, общий вид электротехнологического комплекса из середины и разработанная схема электрическая принципиальная комплекса.

По функциональному назначению электротехнологический комплекс состоит из трех основных частей: блока переключателей режимов работы, СВЧ электромагнитного блока, ультразвукового блока. Основными элементами СВЧ блока есть: амперметр СВЧ генератора, высоковольтный сетевой трансформатор, высоковольтный диод, высоковольтный конденсатор, СВЧ фильтр, выпрямитель, блок удваивания напряжения, магнетрон, блок включения и выключения магнетрона, СВЧ камера для обработки биотоплива, антенна, вентилятор.

Основными элементами ультразвукового блока есть: ультразвуковой генератор, магнитострикторы, блок питания, блок подмагничивания, трансформатор, выпрямитель, вольтметр (амперметр) УЗ генератора, блок переключения вольтметра на амперметр, дроссель УЗ генератора, амперметр подмагничивания.

***Ключевые слова:*** дизельное топливо, метиловый эфир рапсового масла, смесевое биотопливо, электротехнологический комплекс, ультразвук, сверхвысокочастотное электромагнитное поле, магнитострикторы, магнетрон.

# ELECTRO-TECHNOLOGICAL COMPLEX FOR TREATMENT OF THE BLENDERIZED BIOPROPELLANT IS CONSTRUCTION AND PARAMETERS

**R. Kushlyk, R. Kushlyk**

***Summary***

The lack of practically all existent technologies of treatment of blenderized biofuel is the use of machines with mixing devices, substantial intensification of heat and mass transfer processes processes is impossible in that. For the receipt of quality biodiesel fuel an electro-technological complex is worked out for treatment of biofuel by an ultrasound and UFH by the electromagnetic field with the aim of improvement of functional properties of biofuel.

On the functional setting an electro-technological complex consists of three basic parts: block of switches of office hours, UHF electromagnetic block, ultrasonic block. By basic elements UHF block are ammeter UHF generator, high-voltage network transformer, high-voltage diode, high-voltage condenser, UHF filter, rectifier, block of doubling of tension, magnetron, block of on-off magnetron, UHF chamber for treatment of bipropellant, aerial and fan.

The basic elements of ultrasonic block are ultrasonic generator, magnetostrictor, power module, block magnet, transformer, rectifier, voltmeter (ammeter) of bonds of generator, block of switching of voltmeter on an ammeter, throttle of bonds of generator, ammeter magnet.

It is set that treatment of blenderized biofuel in an electro-technological complex must be conducted at next technological parameters: value of resonant frequency of ultrasound must be 22,8 kHz. Deviation of frequency from resonant on 100 Hz results in the rejection of power on 10%, that is why it is necessary to support frequency of ultrasound with exactness not less than 0,5%. Intensity of ultrasound must be 5 W/sm$^2$; power of ultrasound in a chamber - 45 W; power UHF the electromagnetic field - 100 W from bandwidth work of 35%; time of treatment an ultrasound and UHF by the electromagnetic field - 5 minutes at mass of biofuel are 600 mls.

**Keywords:** diesel fuel, methyl ether of rapeoil, blenderized biopropellant, electro-technological complex, ultrasound, super-high-frequency electromagnetic field, magnetostrictor, magnetron.

**УДК 662.754:547.27** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-37**

# МЕТОД ОТРИМАННЯ МЕТИЛОВИХ ЕФІРІВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ З ЖИРІВ ТВАРИННОГО ПОХОДЖЕННЯ

**Постол Ю. О., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-0749-3771**
**Стручаєв М. І., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-8891-4960**
**Гулевський В. Б., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0003-1434-9724**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: yuliapostol111@gmail.com

***Анотація*** - розглянуто спосіб виробництва складних метилових ефірів із жирів тваринного походження для отримання біологічної добавки до дизельного пального. Збільшення забруднення навколишнього середовища, погіршення екологічних умов за рахунок збільшення споживання енергії з мінеральних ресурсів, а також швидкого виснаження корисних ресурсів та високих цін змушують шукати альтернативні види палива, отримані з поновлюваних джерел. Найбільш переважними видами рідкого біопалива є біодизельне паливо та біоетанол.

Сучасні уявлення про правильне харчування залишають тваринам жирів все менше місця в нашому раціоні. На підприємствах м'ясної промисловості накопичуються значні обсяги жирної сировини, що не споживається основним виробництвом. Його знешкодження, як і продажі, є малоприбутковою справою, а в деяких випадках просто збитковою. Крім того, після очищення флотації стічних вод на очисних спорудах утворюються жирові відходи, що також потрібно утилізовувати.

За нинішніх цін на вуглеводневу сировину тисячі тонн жирових відходів перетворюються на потенційне джерело додаткової енергії та додаткового прибутку. Запропоновано простий спосіб використання жирових відходів для отримання біопалива з максимальним розділенням сирого гліцерину та домішок.

***Ключові слова:*** метилові ефіри, дизельний двигун, кавітація.

**Постановка проблеми.** Зростаюче забруднення навколишнього середовища, погіршення екологічної обстановки через підвищене споживання енергії з мінеральної сировини разом з швидким виснаженням корисних ресурсів і високі ціни на них привели вчених до пошуку альтернативних видів палива, які одержуються з поновлюваних джерел [1]. Найбільш пріоритетними видами рідкого біопалива є біодизель і біоетанол.

Сучасні уявлення про правильне харчування залишають тваринним жирам все менше і менше місця в нашому раціоні. Значні

© Постол Ю. О., Стручаєв М. І., Гулевський В. Б.

обсяги жировмісної сировини незатребуваного основним виробництвом, скупчуються на підприємствах м'ясної промисловості. Його утилізація, рівна як і продаж, - справа малоприбуткова, а в деяких випадках просто збиткова. Крім того, на очисних спорудах підприємств після флотації стічних вод утворюються жировмісні відходи, з якими теж треба щось робити.

**Аналіз останніх досліджень.** Традиційно для отримання ефірів жирних кислот тваринного жиру використовують топлені і очищені жири тваринного походження, які містить шкідливі домішки, зокрема фосфатиди, білки, вільні жирні кислоти, воду і т.д., що погіршує умови здійснення реакції. Для вилучення шкідливих домішок здійснюють попередню обробку тваринних жирів з використанням сірчаної кислоти, водних розчиників лугу, спеціальних сорбентів. Очищені жири піддають реакції естеріфікації, в процесі якої отримують біопаливо і відокремлюють хімічно пов'язані домішки. Завдяки механічному перемішуванню реакція естеріфікації здійснюється більш швидко. Для інтенсифікації змішування реагентів можна застосувати відомі різноманітні методи фізико-механічного впливу, а саме: накладання пульсацій в потоці, електромагнітні поля, акустичні коливання ультразвукового діапазону частот і т.д. Застосування ударно-хвильових ефектів, які супроводжують гідродинамічну кавітацію [2], також дозволяє ефективно впливати на оброблювану суміш, інтенсифікувати реакцію, зменшувати час її проходження та забезпечувати належну якість кінцевого продукту.

**Формулювання цілей статті.** При нинішніх цінах на вуглеводневу сировину тисячі тонн жирових відходів перетворюються в потенційне джерело додаткових енергоресурсів і додаткового прибутку. Необхідно реалізувати простий спосіб використання відходів тваринних жирів для виготовлення біопалива з максимальним відділенням неочищеного гліцерину і домішок.

**Основні матеріали дослідження.**

Як відомо, сам по собі метиловий ефір жирних кислот не є моторним паливом, тому біодобавку яку виробляють з рослинних жирів змішують з мінеральним дизельним паливом. Для перемішування біодобавки і компонента дизельного палива застосовується роторно-гідравлічний кавітатор (РГД) [3]. Потік рідини, що проходить через РГД, пропорційно складається з метилового ефіру і необхідного компонента мінерального дизельного палива, піддається впливу інтенсивного кавітаційного поля. Біодизель після змішування під впливом кавітаційного поля не розшаровується. Температура кипіння метилових ефірів карбонових кислот вище 270

$^0$С, тому для отримання біодизелю їх змішують в пропорції один до одного з компонентом дизельного палива, температура кипіння якого знаходиться в межах 190-270 $^0$С.

Сезонні коливання ціни на рослинні олії та неврожаї змусили фахівців розробити технологічний процес і необхідний комплекс обладнання для отримання біодобавки з тваринних жирів (свинини, яловичини, курятини).

Суть технологічного процесу полягає в наступному. Технічний тваринний жир подрібнюється до пастоподібного стану в куттері 1 (рис. 1), потім за допомогою транспортера подається в топковий котел 2.

За допомогою мазутного пальника топковий котел нагрівається до необхідної температури. Подрібнений жир при температурі 100-120 $^0$С перетоплюємо до рідкого стану, при цьому з нього випаровується вся незв'язана з ним вода (конденсат після розморожування). Після розтоплення і випаровування води, рідкий тваринний жир надходить в проміжний бак-термос 3, де остиває до потрібної температури.

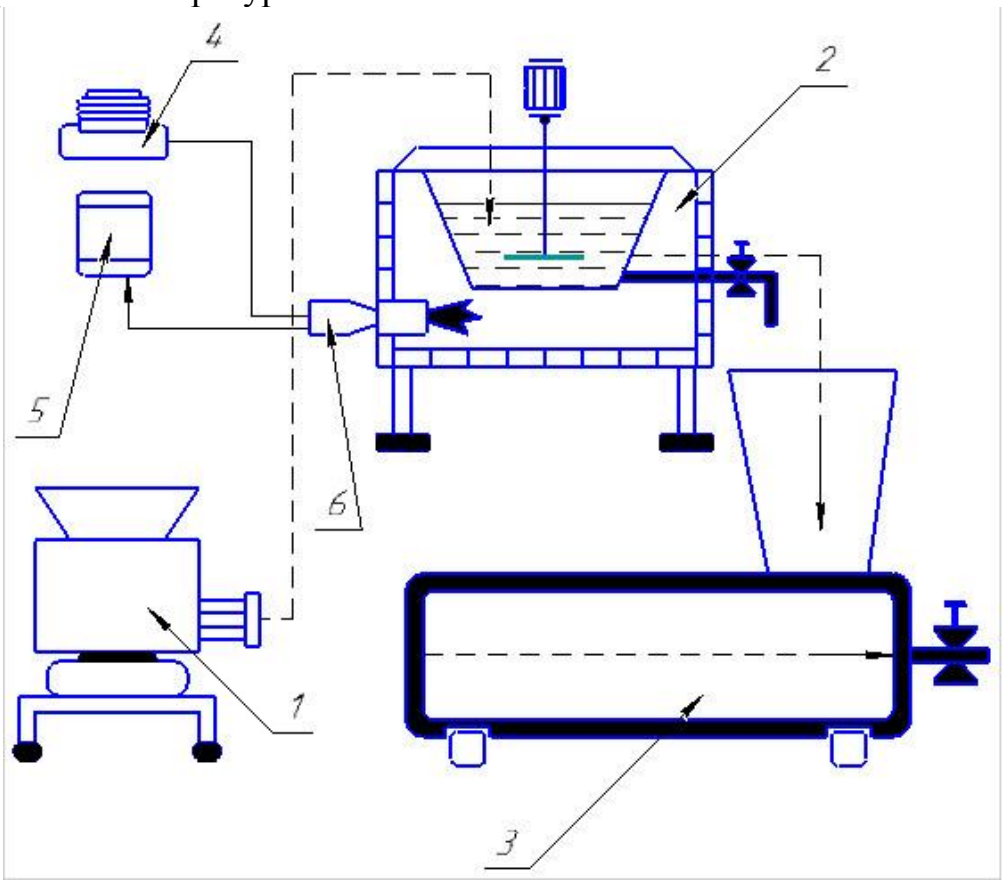



Рис. 1. Підготовчий цикл виготовлення біопалива для дизельних двигунів на основі тваринного жиру: 1 - куттер; 2 - топковий котел; 3 - проміжний бак; 4 - компресор; 5 - мазутовий бак; 6 - пальник.

Наступний етап - подача жиру в реактор етерифікації 1 (рис.2), де він змішується з необхідною кількістю каталізатора (КОН) їдким калієм і метиловим спиртом (СНзОН) метанолом.

Реактор 1 обладнаний механічною якірної мішалкою і нагрівальної оболонкою. У ємність 2 для приготування каталізатора подають задану кількість гідроксиду калію КОН (0,23-0,60% від кількості рідкого тваринного жиру), а потім метиловий спирт СН3ОН (6 - 15% від кількості рідкого тваринного жиру). У ємності 2 здійснюється ретельне перемішування суміші метанолу і гідроксиду калію протягом 35-45 хвилин.

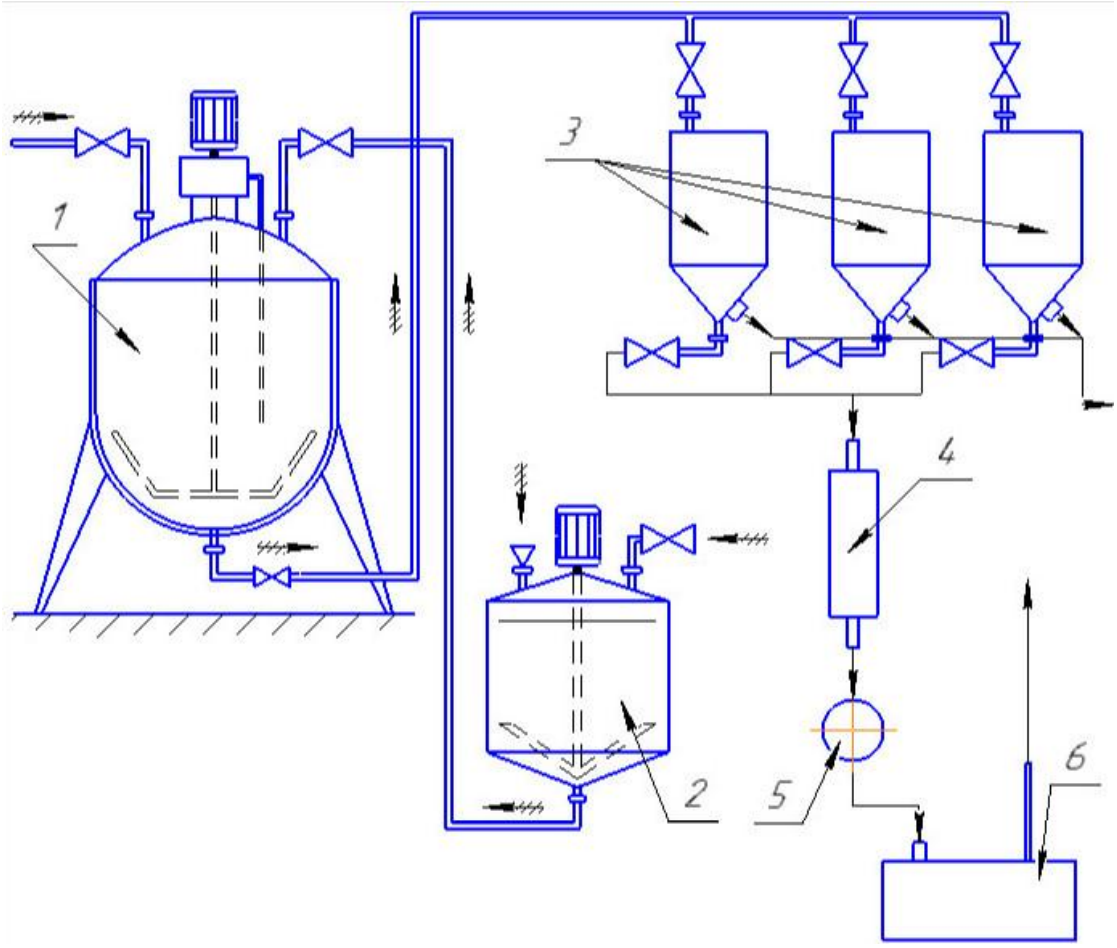



Рис. 2. Спосіб виготовлення біопалива для дизельних двигунів на основі тваринного жиру: 1-реактор етерифікації; 2-змішувач (метоксіднік); 3 - відстійник; 4 - колона нормалізації pH; 5 - сепаратор; 6 - ємність для зберігання.

Отриманий таким чином в ємності 2 каталізатор (метоксид калію) перекачують в реактор 1 етерифікації, де рідкий тваринний жир і каталізатор перемішують і нагрівають до температури початку

кипіння метанолу 65 - 70 $^0$С. Процес триває протягом 43-47 хвилин. Реакція етерифікації виникає в результаті взаємодії спирту з вищими жирними кислотами, які входять до складу тваринного жиру. Це може бути як гранична (тверда): пальмітинова, стеаринова кислота так і негранична (рідка) олеїнова кислота та ін. карбонові кислоти. В результаті реакції етерифікації від молекули карбонової кислоти відщеплюється гідроксильна група, а від молекули спирту - водень. Наявність каталізатора зумовлює поділ тваринного жиру на вищу жирну кислоту і гліцерин, і перехід карбонових кислот в метиловий ефір.

Отриману нагріту суміш направляють в ємності 3 для відстоювання, в яких суміш розділяється протягом 2,5-3,5 годин. При цьому гліцерин разом з гідроксилом, відщепленим від молекули кислоти, і гліцеридами, що не набрали реакцію випадає вниз, а біодобавка (складний метиловий ефір) спливає вгору, через різниці в щільності. З ємності 3 для відстоювання гліцерин поміщають в цистерни зберігання, а біодобавку через колону 4 охолодження і нормалізації pH перекачують в сепаратор 5 для остаточного очищення.

Приклад. Попередньо підготовлений рідкий тваринний жир, в кількості 1000 л заливають в реактор 1 етерифікації. Окремо в змішувачі 2 готують каталізатор (метоксид калію) змішуючи протягом 40 хвилин 6 кг гідрооксиду калію і 150 л метилового спирту. У реакторі рідкий тваринний жир і каталізатор перемішують протягом 45 хвилин і нагрівають до 65 - 70 $^0$С. В результаті реакції етерифікації утворюється суміш складного ефіру карбонових кислот і неочищений гліцерин з домішками. Після відстоювання протягом 3 годин суміш розділяється на біопаливо, кількість якого складає 900 - 1000л, і гліцеринову воду 100 - 200 л.

**Висновки.** Спосіб простий в реалізації і дозволяє використовувати відходи тваринних жирів для виготовлення біопалива з максимальним відділенням неочищеного гліцерину і домішок.

**Список використаних джерел**

1. Біопалива (технології, машини і обладнання) / *В. О. Дубровін* та ін. Київ: Енергетика і електрофікація, 2004. 256 с.

2. *Пилипенко В. В.* Кавитационные автоколебания и динамика гидросистем. Москва: Машиностроение, 1977. 352 с.

3. *Постол Ю. О.* Можливості використання кавітації в переробці вуглеводної сировини. *Вісник Харківського національного технічного*

*університету сільського господарства ім. Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 165. С. 126-127.

5. *Семенов В. Г.* Анализ показателей работы дизелей на нефтяных и альтернативных топливах растительного происхождения. *Вісник Національного технічного університету „ХПІ”*. Харків, 2002. № 3. С. 177-197.

6. *Семенов В. Г.* Гармонізація національного стандарту на біодизельне паливо до європейського та американського стандартів. *Проблеми хіммотології :* матеріали І Міжнар. наук.-техн. конференції (м. Київ, 5-19 травня 2006 р.). Київ: НАУ, 2006. С. 119-121.

## МЕТОД ПОЛУЧЕНИЯ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ИЗ ЖИРОВ ЖИВОТНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

**Постол Ю. А., Стручаев Н. И., Гулевский В. Б.**

***Аннотация*** - рассмотрен способ получения сложных метиловых эфиров из животных жиров для производства биодобавки к дизельному топливу. Увеличение загрязнения окружающей среды, ухудшение экологических условий за счет увеличения потребления энергии из минеральных ресурсов, а также быстрого истощения ископаемых ресурсов и высоких цен заставляют искать альтернативные виды топлива, полученные из возобновляемых источников. Наиболее предпочтительными видами жидкого биотоплива является биодизельное топливо и биоэтанол.

Современные представления о правильном питании оставляют животным жиров все меньше места в нашем рационе. На предприятиях мясной промышленности накапливаются значительные объемы жирного сырья, не потребляется основным производством. Его обезвреживания, как и продажи, является малоприбыльной делом, а в некоторых случаях просто убыточной. Кроме того, после очистки флотации сточных вод на очистных сооружениях образуются жировые отходы, также нужно утилизировать.

При нынешних ценах на углеводородное сырье тысячи тонн жировых отходов превращаются в потенциальный источник дополнительной энергии и дополнительного дохода. Предложен простой способ использования жировых отходов для получения биотоплива с максимальным разделением сырого глицерина и примесей.

***Ключевые слова:*** метиловые эфиры, дизельный двигатель, кавитация.

# METHOD OF RECEIPT OF METHYL ETHERS FOR DIESEL ENGINES FROM FATS OF ANIMAL ORIGIN

Postol Y., Struchaev M., Hulevskyi V.

***Summary-***

The mean of production of difficult methyl ethers is considered from fats of animal origin for the receipt of biological addition to the diesel fuel.

Increasing environmental pollution, deteriorating environmental conditions through increased consumption of energy from mineral resources, along with the rapid depletion of useful resources and high prices have led scientists to seek alternative fuels derived from renewable sources. The most preferred types of liquid biofuels are biodiesel and bioethanol.

Modern ideas about proper nutrition leave animal fats less and less space in our diet. Significant volumes of fatty raw materials not consumed by the main production are accumulated at the enterprises of the meat industry. Its disposal, as well as sales, is a low-profit business, and in some cases simply unprofitable. In addition, after treatment of wastewater flotation, the wastewater treatment plants generate fatty waste, which also needs to be done.

At current prices for hydrocarbon raw materials, thousands of tons of fat waste are being transformed into a potential source of additional energy and additional revenue. Easy way suggested to use animal fat waste to produce biofuels with maximum separation of crude glycerol and impurities should be implemented.

The essence of the technological process is as follows. The technical animal fat is ground to a paste-like state in the cutter, then fed into the furnace boiler by means of a conveyor. The furnace boiler is heated to the required temperature. After melting and evaporating the water, the liquid animal fat enters the intermediate tank thermos, where it cools to the desired temperature. The next step is the supply of fat to the esterification reactor, where it is mixed with the required amount of catalyst with potassium hydroxide and methyl alcohol methanol. The resulting heated mixture is sent to a tank for upholding. In this case, the glycerol together with the hydroxyl cleaved from the acid molecule and the non-reacting glycerides drops down, and the bioadditive floats upwards due to differences in density.

***Keywords:*** methyl esters, diesel engine, cavitation.

**УДК 621.313.333** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-39**

# ОПТИМІЗАЦІЯ ЗУБЦЕВОЇ ЗОНИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ЙОГО ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ

**Єгоров О. Б.**[1], **к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0003-2599-1624**
**Єгорова О. Ю.**[2], **к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-8593-1557**
**Кунденко М. П.**[2], **д. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-5841-4367**
[1]*Харківський національний університет міського господарства імені О. Бекетова*
[2]*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
E-mail: diaskk67@gmail.com, тел.: (057)712-28-33

***Анотація*** **–** в роботі розглянуто питання оптимізації проектування асинхронних двигунів. Досліджено шляхи та розроблено рекомендації по створенню енергоефективних двигунів. Отримано конструкцію двигуна зі збільшеною перевантажувальною здатністю і зниженою собівартістю. Модернізація виконана за рахунок застосування нового підходу при формуванні пазової зони ротора, для одержання остаточного варіанта конструкції виконано параметричну оптимізацію.

***Ключові слова:*** асинхронний двигун, геометрія пазів, кратності пускового й максимального моментів, перевантажувальна здатність.

**Постановка проблеми.** Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором є сьогодні найбільше часто використовуваними двигунами в сучасних системах електропривода. Вони застосовуються в різних механізмах, пристроях, робота яких пов'язана з важкими режимами пусків, перевантажень, підвищеною температурою, вологістю. Останнім часом проблема оптимального проектування асинхронних двигунів (АД) виходить на передній план. Необхідно, в умовах конкурентної боротьби виробників АД, створювати енергоефективні двигуни, які мають високі енергетичні показники. Для досягнення енергоефективності поряд із застосуванням сучасних матеріалів, збільшенням активних розмірів існує спосіб з відносно невеликими витратами для того щоб одержати збільшення перевантажувальної здатності АД і знизивши при цьому вартість самого двигуна. Мова йде про формування пазової зони ротора, коли для одержання остаточного варіанта конструкції розроблювач виконує параметричну оптимізацію.

© Єгоров О. Б., Єгорова О. Ю., Кунденко М. П.

**Аналіз останніх досліджень.** Незважаючи на відносну простоту конструкції асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, його теорія викликає безсумнівні складності при проектуванні й аналізі асинхронних машин, оскільки границі зубчастих магнітопроводів роблять завдання дослідження аналітичного розв'язку рівнянь важко здійсненної. Диференціальні рівняння в частинних похідних, якими описується електромагнітне поле в асинхронних двигунах, отримані Максвеллом Д.К. в 1861 році, довгий час не могли бути вирішені математиками й інженерами електриками. Причиною цього були обмежені можливості розрахунків таких рівнянь із одного боку, і неоднозначність формул для розрахунків електромагнітних сил і моментів з іншого [2]. У роботах вітчизняних і закордонних учених виклад теорії електричних машин і, асинхронних зокрема, починалося за допомогою введення допущень ідеалізованої електричної машини [3, 4], що значно спрощувало розрахунки. До основних допущенням ставиться гладкість повітряного зазору, тобто відсутність пазів на роторі й статорі, коли їх вплив на роботу машини враховується за допомогою коефіцієнта повітряного зазору. Провідники обмотки в цьому випадку вважають за рівномірно розподілені струмові шари в повітряному зазорі. Крім цього, ухвалюють допущення, що дія нерівномірності повітряного зазору рівною мірою впливає на всі гармоніки поля в зазорі. Магнітний ланцюг електричної машини приймається або ненасиченим, або його насичення не змінюється в досліджуваних режимах роботи. Використання комп'ютерів і сучасного програмного забезпечення в системах автоматизованого проектування асинхронних машин дозволяє по-новому організувати процес створення нової техніки, коли на виході виявляється можливим відразу одержувати готові креслення. Автоматизовані системи проектування можуть містити у своєму составі підпрограми й блоки для розрахунків електромагнітного поля.

Нові можливості в розрахунках електромагнітного поля асинхронних машин були отримані із застосуванням у розрахунках числового методу кінцевих елементів [1, 5]. Цей метод швидко поширився серед розроблювачів електричних машин. Основною його перевагою є те, що замість безпосереднього розв'язку диференціальних рівнянь електромагнітного поля можна досліджувати енергетичний функціонал на екстремум. Рішення багаторазово спрощується, при цьому точність результату залишається високою. Інакше кажучи, крайова задача безпосереднього інтегрування диференціальних рівнянь у частинних похідних замінюється варіаційною. Варіаційна постановка завдання

при дослідженні енергетичного функціонала дозволяє, по-перше, простіше одержати рішення, а, по-друге, говорити про метод кінцевих елементів як про більш точний метод розрахунків електромагнітних сил і моментів в асинхронних машинах, у порівнянні із традиційними графоаналітичними методами, що базуються на кругових діаграмах і допущеннях ідеалізованої електричної машини. Закордонні й вітчизняні публікації по використанню методу кінцевих елементів підтверджують, що даний чисельний метод знайшов широке використання для розрахунків електричних машин і, зокрема, асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором [1, 4, 5].

Методи, засновані на схемах заміщення, використовуються тільки для попередньої оцінки і важливі як перше наближення до вирішення завдання. Якщо оцінювати існуючі рекомендації із проектування пазів ротора в асинхронних двигунах з короткозамкненим ротором можна зробити наступні висновки:

По-перше, існує велика кількість даних по раціональному числу пазів ротора, перевірених багаторічною практикою виробництва даних виробів. Інакше кажучи, у технічній літературі є чіткі рекомендації з вибору числа пазів ротора і їх конфігурації для будь-якого необхідного випадку.

По-друге, площа всіх пазів ротора повинна бути якнайбільша. Хоча прямої такої вказівки немає, але це випливає із усього ходу викладення розрахункових співвідношень (активний опір ротора негативно позначається на здатності асинхронного двигуна до ефективного електромагнітного перетворення). Це викликає прагнення зменшити еквівалентний опор у короткозамкненої обмотки й підвищити ККД двигуна. Пусковий момент при цьому буде неминуче знижуватися.

По-третє, збільшення початкового пускового моменту, при застосуванні глибоких пазів, дозволяє різкіше виявитися ефекту витиснення струму.

**Формулювання цілей статті.** Аналіз існуючого аналогу АД, з використанням прогресивних методик проектування та дослідження можливості розробки ефективних змін в конструкції двигуна за рахунок тільки параметрів пазової зони ротора.

**Основні матеріали дослідження.** У якості базового двигуна (аналога) у роботі було взято АД315М4 з корисною потужністю 132 кВт. Це чотириполюсний електродвигун, що має на статорі 60 пазів, на роторі 50 пазів, матеріал обмотки ротора алюміній, зовнішній діаметр пакета статора 520 мм, пакета ротора - 318 мм.

Проаналізовані рекомендації з вибору числа пазів ротора для чотириполюсних двигунів із числом пазів статора 60 (табл. 1). При цьому враховувалися рекомендації для прямих пазів ротора. Від скосу пазів часто відмовляються, коли потужність електродвигуна перевищує 20 кВт.

Таблиця 1

**Рекомендоване число пазів ротора чотириполюсних АД при числі пазів статора 60**

| Z1=60 | Z2 | |
|---|---|---|
| | Пази без скосу | Пази зі скосом |
| | 50, 52, 68, 70, 74 | 48, 49, 51, 56, 64, 69, 71 |

Проведений ряд електромагнітних розрахунків за допомогою програми ANSYS Maxwell з різними числами й формами пазів у базовому двигуні 315М4 показав наступне. Базовий електродвигун на роторі має 50 пазів кожний з яких має площу поперечного перерізу 211,4 мм$^2$. Загальна площа пазів ротора в цьому випадку рівна 10570 мм$^2$. При проведені дослідження та ряду розрахунків варіантів було визначено кількість пазів ротора - 70, що відповідає рекомендаціям літературних джерел. Енергетичні характеристики електродвигуна з таким ротором не повинні уступати базовому варіанту. Площа кожного з пазів нового ротора суттєво уступає площі паза базового варіанта: вона дорівнює 105,4 мм$^2$. Загальна площа пазів модернізованого ротора, дорівнює 7378 мм$^2$. Це становить 69 %, від площі пазів базового електродвигуна. Через те, що дана конструкція двигуна найчастіше використовується в складі вугільного комбайна, тому висувається вимога збільшити кратність максимального моменту для збільшення перевантажувальної здатності двигуна. При цьому ставилося завдання зберегти енергетичні параметри асинхронного двигуна й добитися зниження його собівартості. Були проведені електромагнітні розрахунки й визначені основні енергетичні характеристики вихідного двигуна й пропонованого варіанта. Результати розрахунків представлені в табл. 2.

Таблиця 2

**Результати електромагнітних розрахунків**

| | $P_{ном}$, кВт | ККД, % | $I_{ном}$, А | cos | $M_{ном}$, Нм | $K_{мм}$ | $K_{мп}$ | $K_{іп}$ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Вихідний двигун | 132 | 93,8 | 136 | 0,85 | 852 | 5,3 | 2,6 | 10,3 |
| Модерні-зований двигун | 132 | 93,5 | 137 | 0,85 | 857 | 7,0 | 4,5 | 12,0 |

Природно, при зниженні сумарної площі пазів ротора відбулося зниження ККД двигуна, але це різниця не перевищує припустиме за ДСТУ відхиленням (-2%), яке пред'являється до таких двигунів. Але при цьому вдалося суттєво підвищити кратність максимального й пускових моментів, що забезпечує високу перевантажувальну здатність двигуна, що модернізується. Аналізуючи причини, які призвели до збільшення перевантажувальної здатності асинхронного двигуна, при збереженні інших його енергетичних параметрів, було визначено, що насичення магнітної системи модернізованого варіанта двигуна в порівнянні з базовим варіантом залишилося в межах припустимих значень (не більш 1,6 Тл) рис. 1, 2.

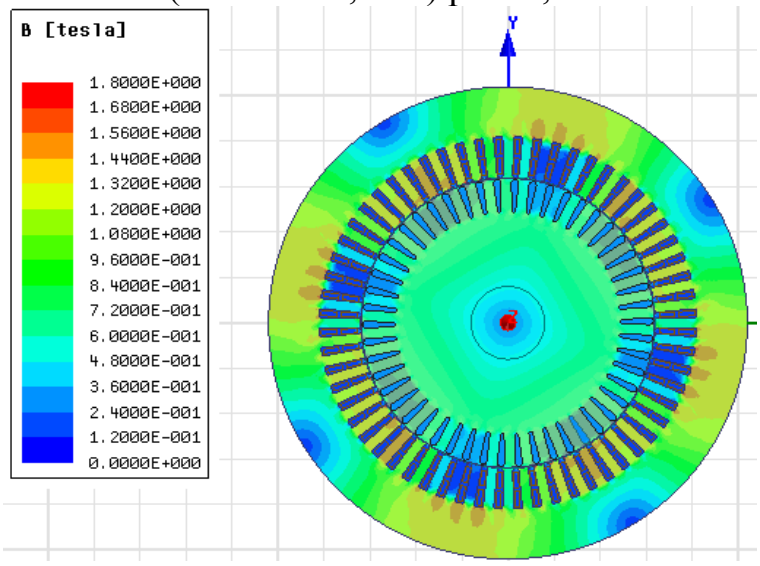



Рис. 1. Рівні магнітної індукції в номінальному режимі базового двигуна

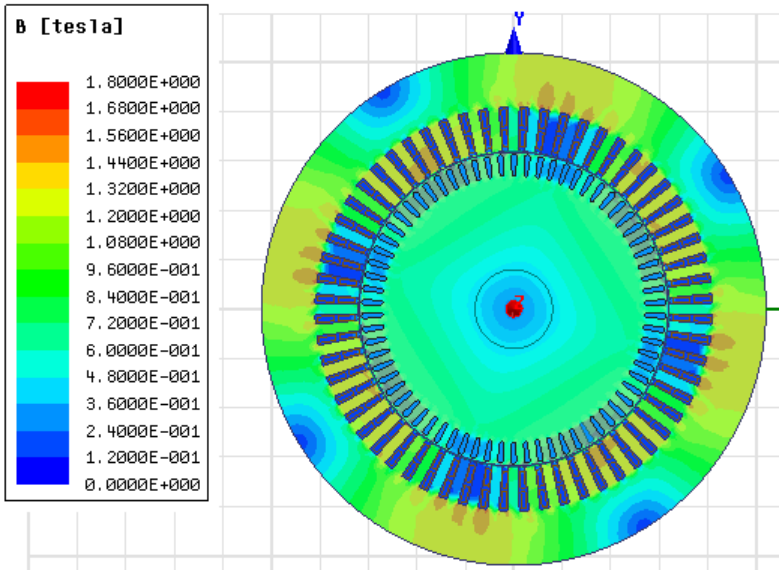



Рис. 2. Рівні магнітної індукції в номінальному режимі двигуна, що модернізується

Крім того, якщо розглянути детальне насичення коронок зубців статора й ротора обох варіантів рис. 3 і 4, видно, що у вихідному варіанті магнітної системи коронки зубців статора й ротора більш насичені в порівнянні із запропонованим модернізованим варіантом. Зниження насичення приводить до зниження втрат у сталі, зменшення перегріву стали статора й ротора. Це дозволило при зменшенні перетину алюмінієвих стрижнів ротора зберегти значення ККД і коефіцієнта потужності модернізованого двигуна, на рівні базового.

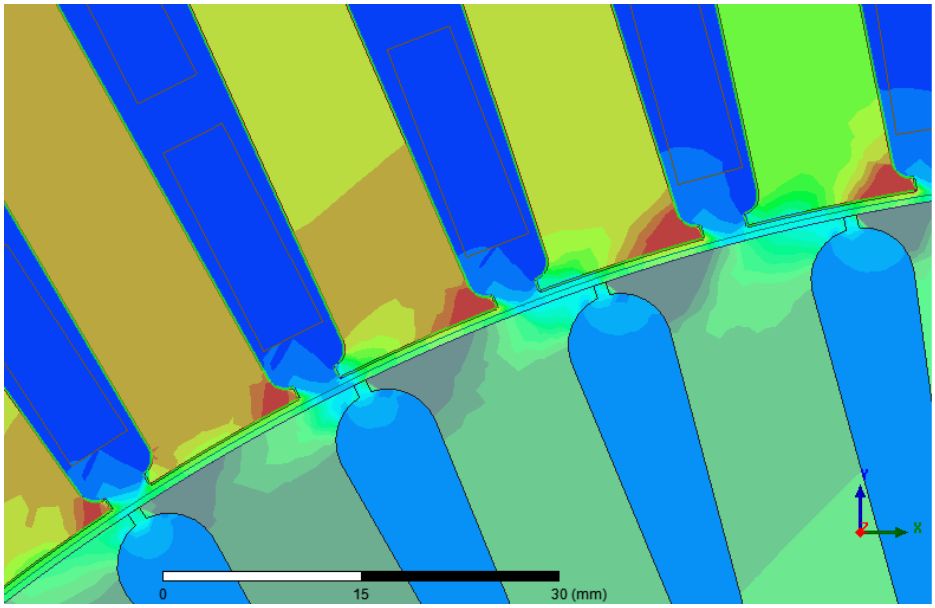



Рис. 3. Рівні магнітної індукції коронок зубців базового двигуна

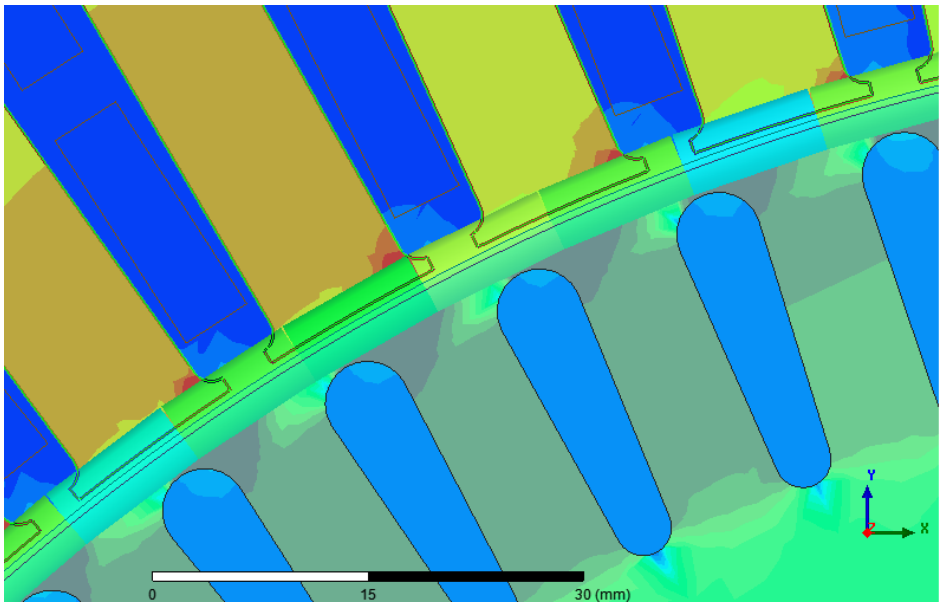



Рис. 4. Рівні магнітної індукції коронок зубців двигуна, що модернізується

Був збільшений активний опір обмотки ротора в трифазному асинхронному двигуні, але замість істотних погіршень енергетичних характеристик (зниження ККД і коефіцієнта потужності, збільшення струму статора) був отриманий двигун з підвищеною перевантажувальною здатністю й збережені ККД, коефіцієнту потужності, номінального струму. Причини досягнутого ефекту полягають у кардинальній зміні кількості і форма пазів ротора, змінили спектральний склад вищих гармонік електромагнітного поля, причому настільки, що такий фактор як активний опір ротора виявився менш значимим при визначенні ефективності електромеханічного перетворення. Крива магнітної індукції в повітряному зазорі базового й двигуна, що модернізується, наведено на рис. 5 і 6 відповідно. З рис. 6 видно, що спектральний склад електромагнітного поля помітно змінився в порівнянні з рис. 5 базового варіанта електродвигуна.

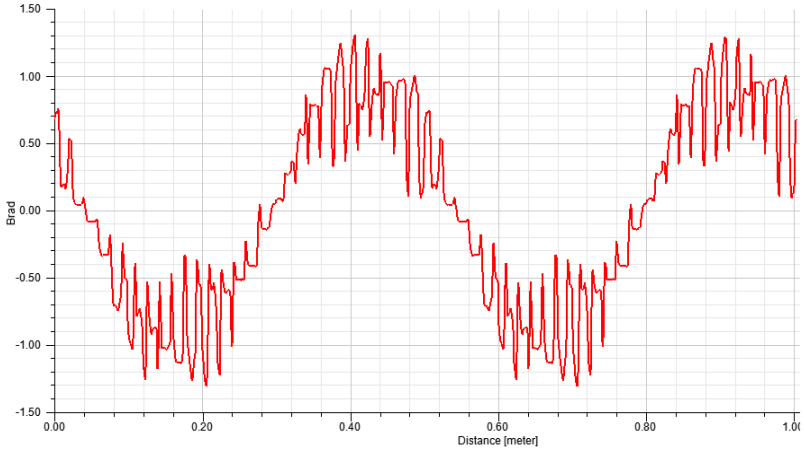



Рис. 5. Розподіл кривої магнітної індукції в повітряному зазорі при номінальному навантаженні базового двигуна

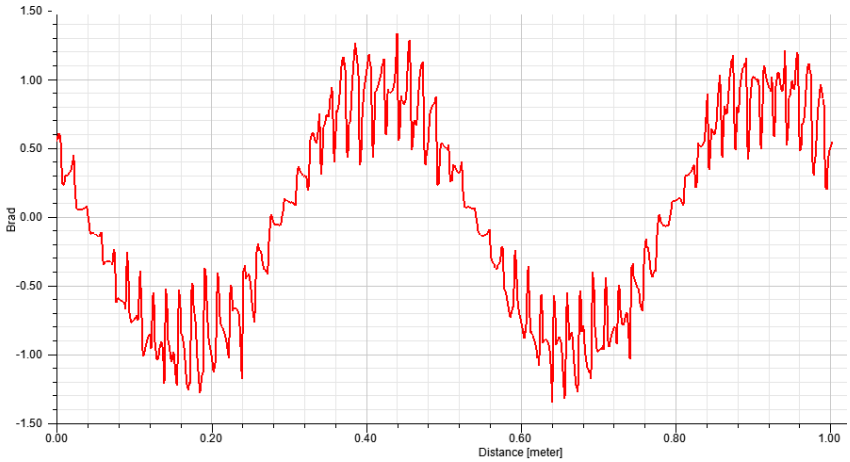



Рис. 6. Розподіл кривої магнітної індукції в повітряному зазорі при номінальному навантаженні двигуна, що модернізується

У програмі ANSYS Maxwell сформовані масиви, які містили по 1000 значень індукції в повітряному зазорі на всій довжині розточення статора. За допомогою спеціально написаної авторами програми в середовищі програмування Mathcad ці масиви оброблялися й виділялися гармонійні складові від першої до вищих гармонік. Були проаналізовані перша й вищі гармонійні складові магнітної індукції в повітряному зазорі обох варіантів асинхронного двигуна.

З рис. 7 і 8 видно, що для базового варіанта форма кривої далека від синусоїди. Для модернізованого варіанта вона практично збігається із синусоїдальною формою. Це говорить про те, що в запропонованому варіанті вдалося знизити негативний вплив третьої гармоніки, тобто її амплітуду. Були розраховані й проаналізовані вищі гармонійні складові, які впливають на характеристики асинхронного двигуна: третя, п'ята, сьома. Результати розрахунку амплітуд цих гармонік представлено в табл. 3.

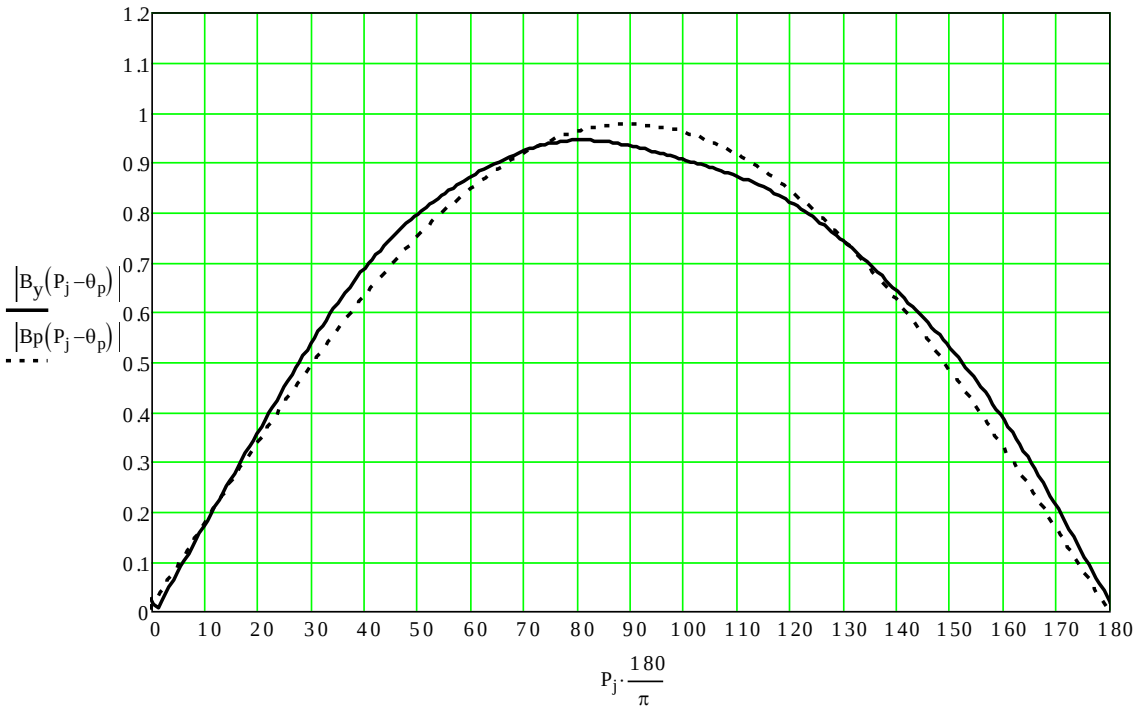



Рис. 7. Форма кривої індукції в повітряному зазорі (суцільна лінія) для базового варіанта двигуна

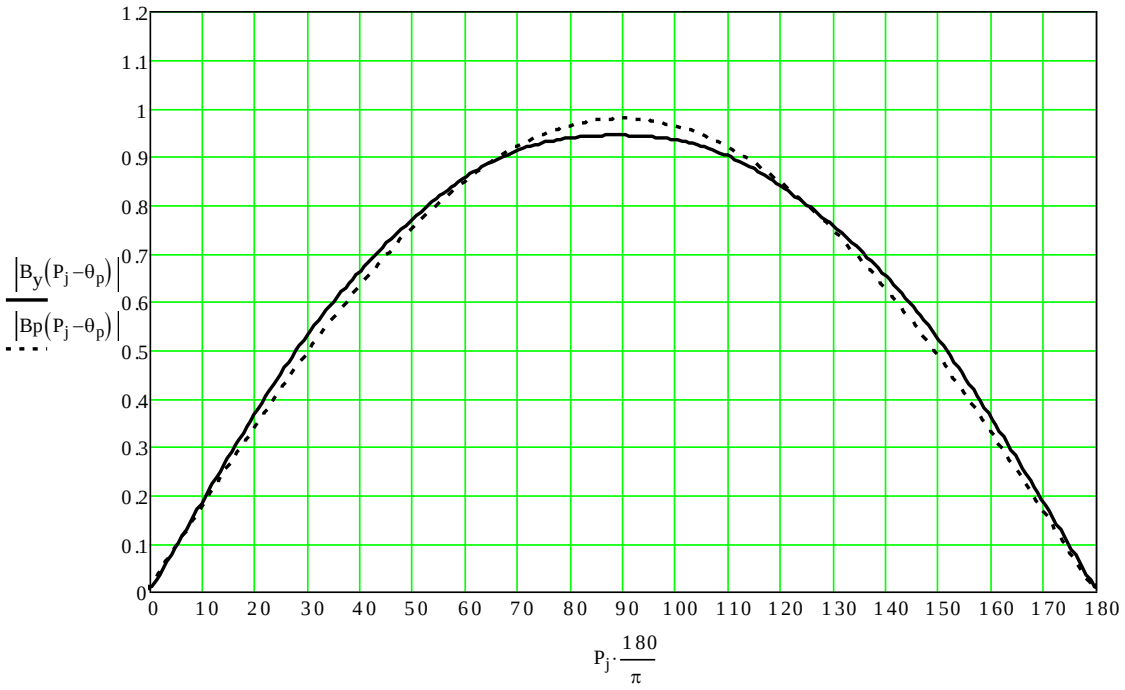



Рис. 8. Форма кривої індукції в повітряному зазорі (суцільна лінія) для модернізованого варіанта двигуна

Таблиця 3

**Амплітуда гармонійних складових індукції в зазорі**

| | 1-я гармоніка, Тл | 3-я гармоніка, Тл | 5-я гармоніка, Тл | 7-я гармоніка, Тл |
|---|---|---|---|---|
| Базовий двигун | 0,973 | 0,051 | 0,028 | 0,013 |
| Модернізований двигун | 0,976 | 0,033 | 0,022 | 0,012 |

Проаналізовані зубцеві гармоніки статора базового й модернізованого варіантів асинхронних двигунів (рис. 9 і 10). З рис. 9 і 10 видно, що зубцеві гармоніки двигуна, що модернізується, менші, ніж у базового на 15-18%. Це дозволяє при збільшенні активних втрат у роторі через зменшення перетину стрижнів обмотки в модернізованому двигуні, одержати високі енергетичні характеристики за рахунок зниження втрат у магнітній системі.

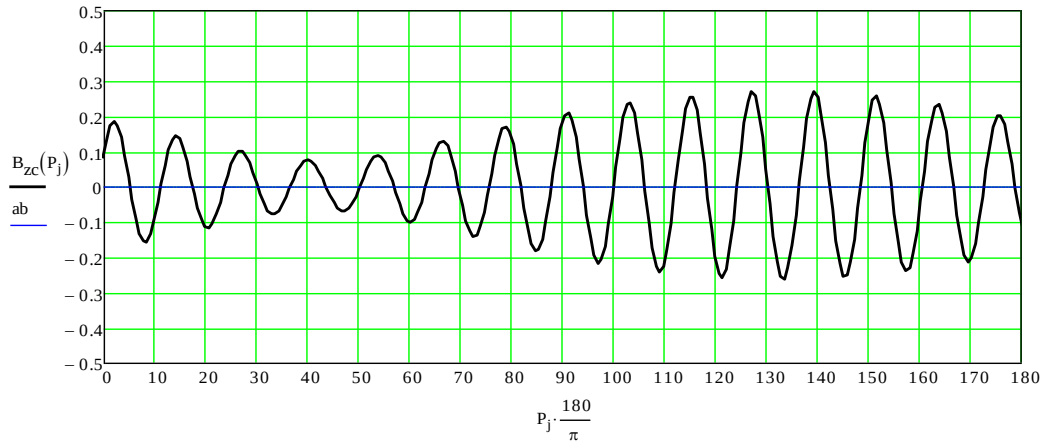



Рис. 9. Зубцеві гармоніки статора для базового варіанта двигуна

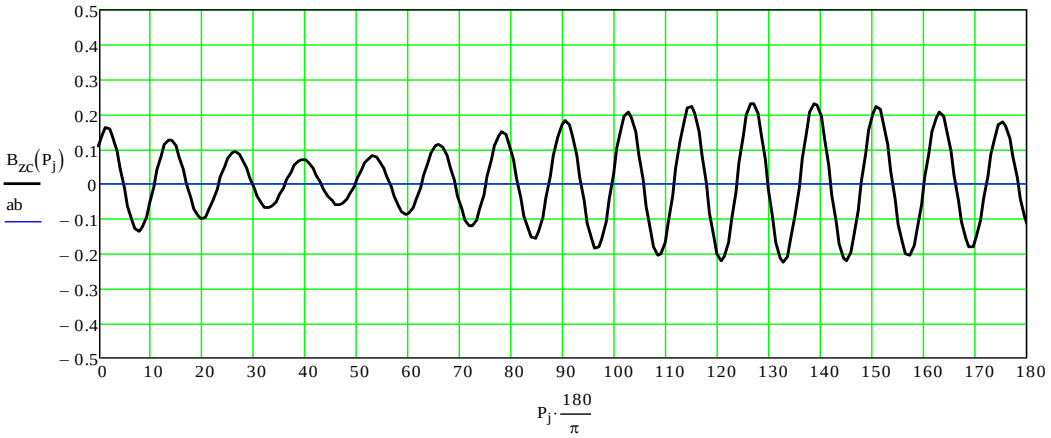



Рис. 10. Зубцеві гармоніки статора для модернізованого варіанта двигуна

Таким чином, очевидним стає наступне твердження. Важливим при проектуванні асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором є не тільки співвідношення чисел пазів, але і їх форма паза ротора, відношення висоти паза до ширини, а також площа поперечного перерізу.

**Висновки:**

1. Обчислювальний експеримент, проведений методом кінцевих елементів, дозволив уточнити раціональну геометрію й число пазів ротора для досягнення мети одержати двигун з більш високою перевантажувальною здатністю.

2. Показано, що збільшення активного опору обмотки ротора не завжди приводить до зменшення ККД. Це обумовлене зміною гармонійного состава електромагнітного поля в повітряному зазорі асинхронного двигуна, що відбувається при зміні співвідношень геометричних розмірів зубцевої зони.

3. Використовуючи 70 пазів на роторі, замість 50 у базовому варіанті, при незмінних параметрах статора, вдається на 44% заощаджувати масу алюмінію у пазовій частині електродвигуна (8,62 кг у базовому варіанті до 5,97 кг у модернізованому двигуні). При цьому основні характеристики електродвигуна не погіршуються, зростають пусковий момент на 73%, максимальний момент на 32%.

**Список використаних джерел**

1. *Tikhonova O., Malygin I., Plastun A.* Electromagnetic calculation for induction motors of various designs by ANSYS Maxwell. *International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM).* 2017. P. 224-226. DOI: 10.1109/ICIEAM.2017.8076294.

2. *Егорова О. Ю., Егоров А. Б.* К вопросу определения текущего остаточного ресурса изоляции электрических машин. *Технические науки - от теории к практике*. 2013. №. 28. С. 126-132.

3. *Єгоров О. Б., Бондаренко І. О.* Визначення максимального проміжку часу зниження живлячої напруги асинхронного двигуна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. № 164. С. 81-82.

*4.* *Yegorov A., Yegorova O.* Analysis of transient processes in an asynchronous motor as part of a complex load. *World science*: International Scientific and Practical Conference. ROST, 2017. Vol. 1, №. 10. P. 12-14.

5. *Shaltout A. A.* Analysis of torsional torques in starting of large squirrel cage induction motors. *IEEE transactions on energy conversion*. 1994. Vol. 9, № 1. P. 135-142.

## ОПТИМИЗАЦИЯ ЗУБЦОВОЙ ЗОНЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЕГО ПЕРЕГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ

**Егоров А. Б., Егорова О. Ю, Кунденко Н. П.**

***Аннотация*** - В работе рассмотрены вопросы оптимизации проектирования асинхронных двигателей. Исследованы пути и разработаны рекомендации по созданию энергоэффективных двигателей. Получено конструкцию двигателя с увеличенной перегрузочной способностью и сниженной себестоимостью. Модернизация выполнена за счет применения нового подхода при формировании пазовой зоны ротора, для получения окончательного варианта конструкции выполнена параметрическая оптимизация.

***Ключевые слова:*** асинхронный двигатель, геометрия пазов, кратности пускового и максимального моментов, перегрузочная способность.

# OPTIMIZATION OF THE BLADE FIELD OF THE ASYNCHRONOUS MOTOR WITH THE PURPOSE OF IMPROVING YOUR TRANSPORTABILITY

**O. Iegorov, O. Iegorova, M. Kundenko**

***Summary***

The induction motors (IM) with short-circuited rotors are today the most commonly used motors in modern electric drive systems. They are used in various mechanisms, devices, the work of which is associated with severe modes of startup, overload, high temperature, humidity. In order to achieve energy efficiency, along with the use of modern materials, an increase in active sizes, there is a method with relatively low costs in order to obtain an increase in reloading ability of blood pressure while reducing the cost of the engine itself. During the research and a number of calculations of the variants, the optimal number of rotor slots was determined. Power characteristics of an electric motor with such a rotor are not inferior to the basic variant. The requirement to increase the multiplicity of the maximum moment to increase the reloading capacity of the engine was performed. At the same time, the task was to preserve the power parameters of the induction motor and achieve a reduction in its cost. Electromagnetic calculations were carried out and the main energy characteristics of the output motor and the proposed variant were determined. The active resistance of the rotor winding in the three-phase induction motor was increased, but instead of significant deterioration of the power characteristics (reduction of efficiency and power factor, increase of stator current), an engine with an increased reloading capacity was obtained and the efficiency, power factor, and nominal current were maintained. The computational experiment carried out by the finite element method allowed to clarify the rational geometry and the number of rotor slots to achieve the task of obtaining an engine with a higher transhipment capacity. It is shown that an increase in the active resistance of the rotor winding does not always lead to a decrease in the efficiency. This is due to the change in the harmonic composition of the electromagnetic field in the air gap of the induction motor, which occurs when the ratio of geometric dimensions of the toothed zone changes.

*Keywords:* asynchronous motor, geometry of grooves, multiplicity of starting and maximum moments, reloading ability.

**УДК 519.876.5:621.313.33 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-38**

# МЕТОД ЧИСЛЕННОГО РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЯХ

**Мищенко К. В.,**
**Паталах Д. Г.,**
**Набокова О. В.,**
**Тиховод С. М., д. т. н. http://orcid.org/0000-0003-0748-1735**
*Запорожский национальный технический университет*
e-mail: stikhovod@gmail.com

***Аннотация*** - статья посвящена усовершенствованию численного метода расчета электромеханических переходных процессов в асинхронных двигателях. Электромеханические переходные процессы могут быть весьма продолжительными, что приводит к значительному времени расчета и накоплению погрешности расчета при использовании современных программных средств. Цель данной работы – разработка улучшенного метода расчета переходных электромеханических процессов в асинхронных двигателях, который реализуется простой, но быстродействующей компьютерной программой. Предложена схемная интерпретация разработанного метода. Поскольку в систему уравнений, описывающих динамику асинхронного двигателя, входят произведения токов 1- ротора и 2-статора то эта система нелинейная. На текущем шаге интегрирования *k* произведение значений двух токов 1 и 2 рассматривается как среднее значение: переменная – ток 1 с коэффициентом, имеющим значение тока 2, взятого с предыдущего шага интегрирования и переменная – ток 2 с коэффициентом, имеющим значение тока 1, с предыдущего шага. Для уточнения этого произведения на каждом шаге интегрирования выполняется 2-3 итерации, что достаточно. Уравнения численного метода интегрирования дифференциальных уравнений объединяются с системой уравнений, описывающих электромагнитные и механические процессы. Такой прием позволяет использовать непосредственно неявный метод численного интегрирования дифференциальных уравнений.

При расчете переходного процесса в асинхронном двигателе предложенным методом процессорное время сокращается более чем на 35% по сравнению с расчетами известными методами.

***Ключевые слова****: переходные электромеханические процессы, схемная интерпретация, асинхронные двигатели.*

**Постановка задачи.** Во время резкого изменения режима работы и питания асинхронных двигателей (АД) возникают электромеханические переходные процессы. При этом могут

© Мищенко К. В., Паталах Д. Г., Набокова О. В., Тиховод С. М.

возникать значительные броски тока, изменяться вращающий момент и частота вращения ротора. Это должно учитываться на стадии проектирования электрических машин путем компьютерного моделирования. Поэтому изучение электромеханических переходных процессов не потеряло актуальности.

**Анализ последних исследований.** Для моделирования переходных процессов в электрических цепях, в которые включены асинхронные машины, в настоящее время используется ряд готовых программных комплексов, предназначенных для анализа электрических процессов в электрических и электронных схемах. Наиболее известными из них является EMTP [1], PSpice [2], Micro Cap [3], Simulink [4]. В указанных пакетах автоматически по схеме замещения составляется система дифференциальных уравнений состояния и выполняется ее решение известными численными методами. В автоматизированных системах моделирования используются встроенные решатели. Решатели автоматизированных комплексов моделирования, таких, как Pspice [2] или MATLAB [4] используют традиционные методы численного интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений с использованием итерационного процесса на каждом шаге интегрирования. Это замедляет процесс численного расчета. Электромеханические переходные процессы состоят из быстрых электромагнитных процессов и весьма медленных механических процессов. При моделировании шаг интегрирования должен выбираться исходя из самых быстрых процессов. Электромеханические переходные процессы могут быть весьма продолжительными. Поэтому внедрение новых методов численного решения уравнений состояния, приводящих к сокращению времени и повышению точности расчета, является актуальной задачей.

**Цель данной работы** – усовершенствование метода расчета переходных электромеханических процессов в асинхронных двигателях, который реализуется простой компьютерной программой.

**Основные материалы исследования.** Рассмотрим двухфазную электрическую машину. Моделирование трехфазной машины можно свести к моделированию двухфазной машины [5].

Наиболее просто уравнения двухфазной электрической машины записываются в системе координат $dq$ , которая вращается с частотой вращения ротора $\Omega$. В этом случае отсутствуют коэффициенты, изменяющиеся в зависимости от угла поворота ротора. Уравнения конденсаторной электрической машины, питающейся от одной фазы, незначительно отличаются от уравнения двухфазной электрической

машины. Система уравнений, описывающих электромагнитные и механические процессы, имеет вид [6]:

$$\left.\begin{aligned}
&L_s \frac{di_{as}}{dt} + R_s i_{as} + M \frac{di_{ar}}{dt} = e_a;\\
&M \frac{di_{as}}{dt} + R_r i_{ar} + (M + L_r) \frac{di_{ar}}{dt} + \Omega L_r \, P i_{br} + \Omega M \, P i_{bs} = 0;\\
&L_s \frac{di_{bs}}{dt} + R_s i_{bs} + M \frac{di_{br}}{dt} + u_C = e_a;\\
&-\Omega M \, P i_{as} - \Omega L_r P i_{ar} + L_r \frac{di_{br}}{dt} + R_r i_{br} + (M + L_s) \frac{di_{bs}}{dt} = 0;\\
&C_p \frac{du_C}{dt} - i_{bs} = 0.\\
&\frac{J}{P} \frac{d}{dt} \Omega + R_{торм} \Omega + M_{торм} = \frac{m P M}{2} \left[ i_{bs} i_{ar} - i_{as} i_{br} \right]
\end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

где

$u_{ср}$, $C_p$ – напряжение на фазосдвигающем конденсаторе и емкость конденсатора;

$i_{as}$, $i_{bs}$, $i_{ar}$, $i_{br}$ - токи в обмотках статора и ротора фазы «a» и «b»;

$M$ – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора;

$L_s$ , $L_r$ – индуктивности рассеяния обмоток статора и ротора;

$R_s$, $R_r$ – активные сопротивления обмоток статора и ротора;

$M_{торм}$ – внешний момент, приложенный к валу ЭМ;

$R_{торм}$ – тормозное сопротивление ротора;

$P$ – число пар полюсов;

$m$ – число фаз обмотки ротора;

$J$ - приведенный момент инерции вращающихся частей машины.

Электромагнитные процессы описываются первыми пятью уравнениями. Шестое уравнение описывает электромеханические процессы.

Для удобства системе уравнений (1) целесообразно поставить в соответствие схему замещения, которая имеет вид, представленный на рис. 1.

В схеме замещения пятый контур иллюстрирует динамику механической части двигателя – ротора. В этом контуре роль тока исполняет круговая частота вращения ротора Ω. Роль индуктивности исполняет эквивалентный момент инерции ротора с присоединенной нагрузкой, деленный на количество пар полюсов. Электромагнитный и тормозной моменты представлены, как источники ЭДС, а тормозное сопротивление задано резистивным элементом $R_{torm}$. В схеме замещения использован искусственный прием, который представляет частоту вращения ротора как некоторый ток Ω. Это не противоречит

уравнениям (1), но позволяет электромеханические процессы представлять единой электрической схемой. Это особенно актуально при использовании программных комплексов, в которых уравнения составляются автоматически по заданной электрической схеме [4].

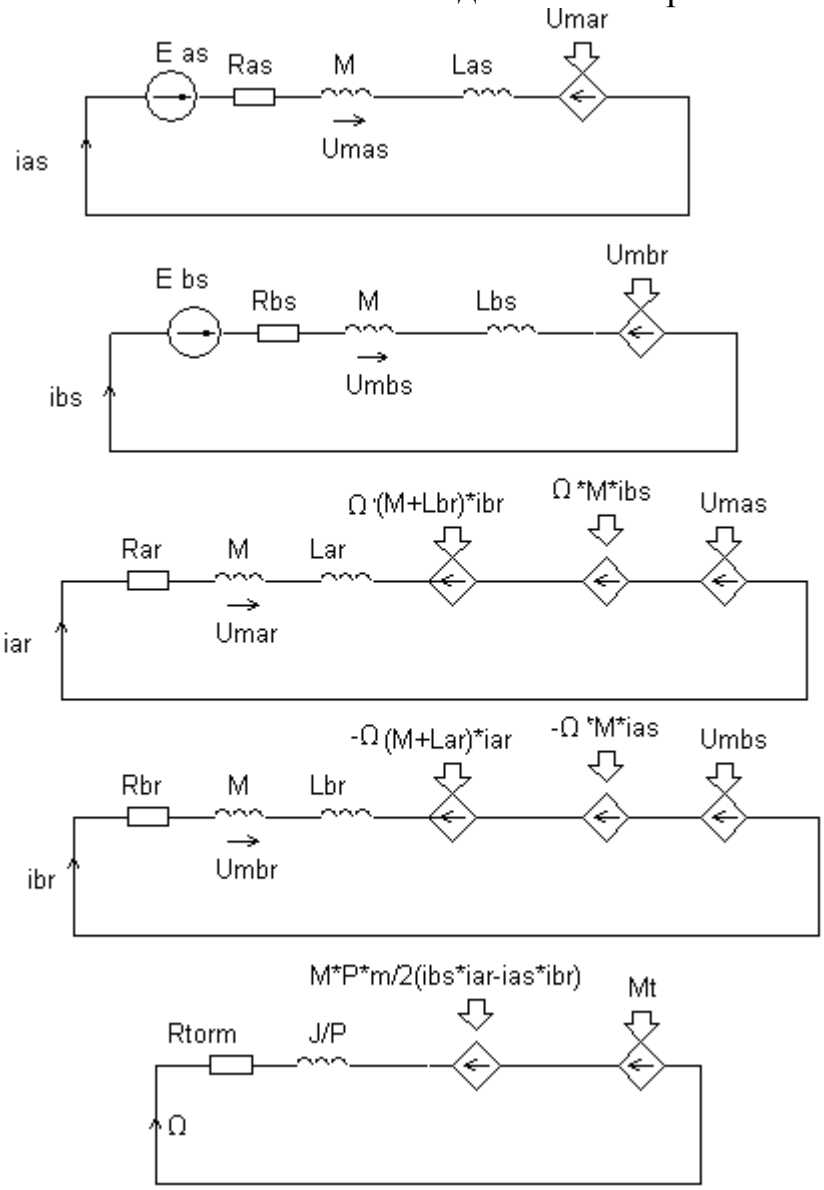



Рис. 1. Схема замещения двухфазного АД

Поскольку в систему уравнений, описывающих динамику асинхронного двигателя, входят произведения токов статора и ротора $i_{as} \cdot i_{br}$ , $i_{bs} \cdot i_{ar}$, а также произведение частоты вращения Ω и токов, то эта система нелинейная.

Для решения этой проблемы предложено систему нелинейных дифференциальных уравнений рассматривать как линейную систему.

На текущем шаге интегрирования $k$ произведение $i_{as} \cdot i_{br}$ рассматривается как:

$$i_{as(k-1)} \cdot \frac{i_{br}}{2} + i_{br(k-1)} \cdot \frac{i_{as}}{2}.$$

Так же вычисляется произведение $i_{bs} \cdot i_{ar}$. Поскольку частота вращения $\Omega$ изменяется значительно медленнее, чем токи, то на текущем шаге интегрирования $k$ значение $\Omega$ можно взять с предыдущего шага интегрирования и использовать это значение как коэффициент при соответствующих токах. Для уточнения этих произведений на каждом шаге интегрирования выполняется 2-3 итерации, что достаточно.

Система уравнений (1) может быть решена численными методами. Для этого ее нужно записать в матричной форме:

$$\mathbf{M}_K \mathbf{X}_\mathbf{t} = \mathbf{V}_K, \quad (2)$$

где $\mathbf{X_t}$ – вектор переменных:

$$\mathbf{X}_\mathbf{t} = [\Omega' \quad ias' \quad ibs' \quad iar' \quad ibr' \quad uc' \quad \Omega \quad ias \quad ibs \quad iar \quad ibr \quad uc \quad ]^{\mathrm{T}} \quad (3)$$

$\mathbf{M}_K$ – матрица, схема которой имеет вид:

| Ω' | ias' | ibs' | iar' | ibr' | uc' | Ω | ias | ibs | iar | ibr | uc |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0 | M+Ls | 0 | M | 0 | 0 | 0 | Rs | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | M | 0 | M+Ls | 0 | 0 | 0 | 0 | M*P*Ω | Rr | (M+Lr)*P*Ω | 0 |
| 0 | 0 | M+Ls | 0 | M | 0 | 0 | 0 | Rs | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | M | 0 | M+Lr | 0 | 0 | -M*P*Ω | 0 | -(M+Lr)*P*Ω | Rr | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Cp | 0 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 |
| J/P | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | Rtorm | ke*ibr/4 | -ke*iar/4 | -ke*ibs/4 | ke*ias/4 | 0 |

(4)

где в матрице $\mathrm{M_K}$ $i_{as}, i_{br}, i_{bs}, i_{ar}$ - значения, найденные на предыдущем шаге интегрирования.

$\mathbf{V}_K$– вектор правой части системы уравнений (1):

$$\mathbf{V}_K = [e \quad 0 \quad e \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T; \quad (5)$$

$ke = M \cdot P \cdot m.$

Штрихом обозначены производные по времени соответствующих переменных.

Матричная система уравнений (1) содержит 12 неизвестных (3) и всего 6 линейных уравнений (4). Чтобы эта система уравнений имела единственное решение ее необходимо добавить уравнениями численного метода решения дифференциальных уравнений, например, уравнениями неявного метода Эйлера.

$$\left.\begin{aligned}
\Omega_{(k)} &= \Omega_{(k-1)} + h \cdot \Omega'_k \\
ias_{(k)} &= ias_{(k-1)} + h \cdot ias'_k \\
ibs_{(k)} &= ibs_{(k-1)} + h \cdot ibs'_k \\
iar_{(k)} &= iar_{(k-1)} + h \cdot iar'_k \\
ibr_{(k)} &= ibr_{(k-1)} + h \cdot ibr'_k \\
u_{c(k)} &= u_{c(k-1)} + h \cdot u'_{c(k)}
\end{aligned}\right\}, \qquad (6)$$

где индекс *(k)* обозначает номер текущего шага интегрирования, а *(k-1)* – номер предыдущего шага.

Систему уравнений метода Эйлера (6) можно записать в матричной форме

$$\mathbf{M}_E \mathbf{X}_\mathbf{t} = \mathbf{V}_E \qquad (7)$$

$\mathbf{M}_E$ – матрица, схема которой имеет вид:

| Ω' | *ias'* | *ibs'* | *iar'* | *ibr'* | *uc'* | Ω | *ias* | *ibs* | *iar* | *ibr* | *uc* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* |
| *0* | *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* | *0* | *0* | *0* | *0* |
| *0* | *0* | *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* | *0* | *0* | *0* |
| *0* | *0* | *0* | *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* | *0* | *0* |
| *0* | *0* | *0* | *0* | *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* | *0* |
| *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *-h* | *0* | *0* | *0* | *0* | *0* | *1* |

(8)

$\mathbf{V}_E$– вектор правой части системы уравнений (7):

$$\mathbf{V}_E = \left[\Omega_{(k-1)} \quad ias_{(k-1)} \quad ibs_{(k-1)} \quad iar_{(k-1)} \quad ibr_{(k-1)} \quad uc_{(k-1)}\right]^T \qquad (9)$$

Объединим уравнения (2) и (7) в одну систему. В результате объединяются матрицы

$$\mathbf{M} = \left[\frac{\mathbf{M}_K}{\mathbf{M}_E}\right]; \qquad (10)$$

и векторы правых частей

$$\mathbf{V} = \left[\frac{\mathbf{V}_\mathbf{K}}{\mathbf{V}_\mathbf{E}}\right]. \qquad (11)$$

Объединенная система в матричной форме имеет вид:

$$\mathbf{M} \cdot \mathbf{X}_\mathbf{t} = \mathbf{V}. \qquad (12)$$

Система уравнений (1) содержит неизвестные токи, напряжение $u_c$ и частоту вращения ротора Ω, а также производные этих величин.

Алгоритм вычислений, на основании которого составлена программа, представлен на рис.2.

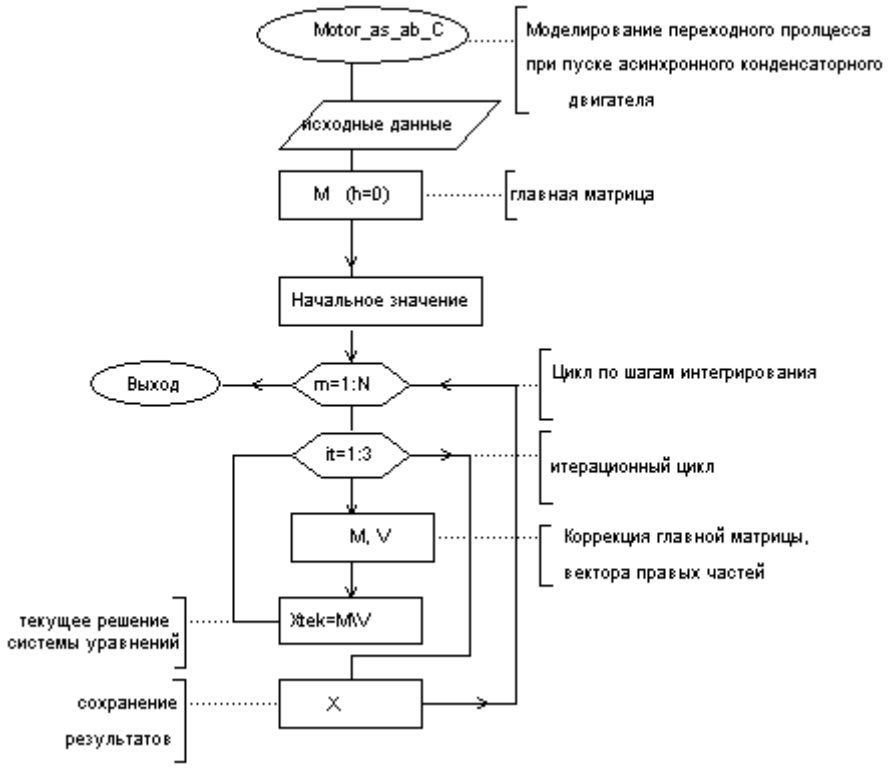



Рис. 2. Блок-схема алгоритма вычислений

Алгоритм заключается в выполнении следующей последовательности действий:

a) задание исходных данных;
b) формирование главной матрицы M;
c) задание начальных значений всех переменных;
d) организация цикла с пошаговым изменением текущего времени *t*;
e) организация итерационного цикла на данном шаге интегрирования без изменения текущего времени;
f) на каждом шаге итерационного цикла выполняется корректировка матрицы **M**, вектора **V** и вычисляется вектор текущего решения $\mathbf{X}_{tek}$. После выполнения уточняющих итераций текущий вектор решения сохраняется в массив X.

В качестве примера выполнено моделирование пуска асинхронным двигателем с числом пар полюсов $P = 2$. На рис. 3 и рис. 4 представлены расчетные осциллограммы тока $i_{as}(t)$ и частоты

вращения, полученные в результате расчета по разработанной программе Motor_as_ab_C.

Для сравнительной оценки разработанного метода в системе Matlab разработан ряд программ решения рассмотренной задачи различными методами.

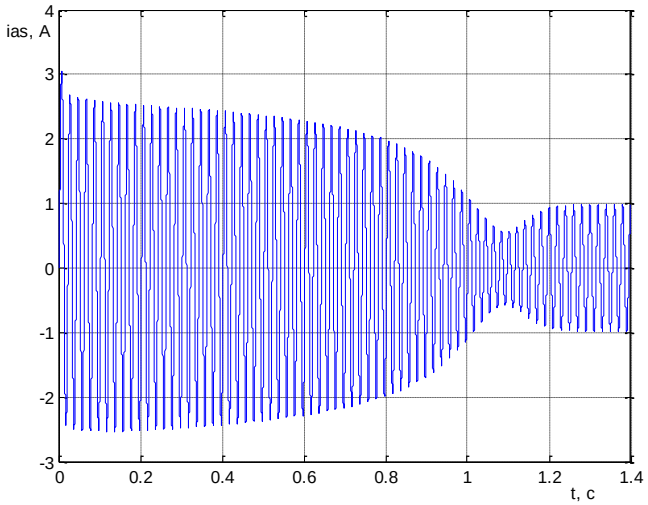



Рис. 3. Расчетная осциллограмма: ток $i_{as}(t)$ фазы статора «А»

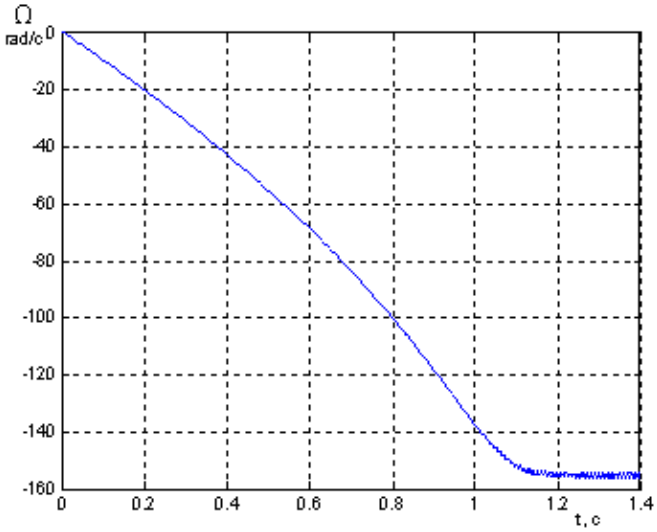



Рис. 4. Зависимость частоты вращения ротора от времени

В этих программах произведения $i_{as} \cdot i_{br}$, а также $i_{bs} \cdot i_{ar}$ вычисляются на текущем шаге как произведения значений, взятых с предыдущего шага интегрирования, с последующими итерациями. Такой способ имеет меньшее быстродействие, чем предложенный, на 35%.

**Вывод.** Использованный метод расчета переходных электромеханических процессов на 35% имеет лучшее быстродействие, чем традиционные методы.

**Список использованной литературы**

1. *Dommel H. W.* EMTP theory book. British Columbia: Microtran Power System Analysis Corporation Vancouver, 1996. 631 p.
2. *Кеоун Дж.* OrCAD Pspice. Анализ электрических цепей. Санкт-Петербург: Питер, 2008. 640 с.
3. *Разевиг В. Д.* Система схемотехнического моделирования Micro Cap 6. Москва: Горячая линия, 2001. 344 с.
4. *Черных И. В.* Simulink среда создания инженерных приложений. Москва: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. 496 с.
5. *Усольцев А. А.* Векторное управление асинхронными двигателями. Санкт-Петербург, 2002. 43 с.
6. *Копылов И. П.* Математическое моделирование электрических машин. Москва: Высшая школа, 2001. 327 с.

## МЕТОД ЧИСЛОВОГО РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНИХ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ В АСИНХРОННИХ ДВИГУНАХ

**Міщенко К. В., Паталах Д. Г., Набокова О. В., Тиховод С. М.**

***Анотація*** - стаття присвячена удосконаленню числового методу розрахунку електромеханічних перехідних процесів в асинхронних двигунах при різкій зміні режиму роботи. Електромеханічні перехідні процеси можуть бути дуже тривалими, що призводить до значного часу розрахунку і накопичення похибки розрахунку при використанні сучасних програмних засобів. Мета даної роботи - розробка поліпшеного методу розрахунку перехідних електромеханічних процесів в асинхронних двигунах, який реалізується простою, але швидкодіючою комп'ютерною програмою. Поставлена мета досягнута використанням системи рівнянь, які описують електромагнітні та механічні процеси конденсаторної електричної машини, яка живиться від однієї фази.

Запропоновано схемну інтерпретацію методу. Оскільки в систему рівнянь, що описують динаміку асинхронного двигуна, входять добутки струмів 1 - ротора і 2-статора то ця система нелінійна. На поточному етапі інтегрування *k* добуток значень двох струмів 1 і 2 розглядається як середнє значення: змінна - струм 1 з коефіцієнтом, який має значення струму 2, взятого з попереднього кроку інтегрування і змінна - струм 2 з коефіцієнтом, який має значення струму 1 , з попереднього кроку. Для уточнення цього добутку на кожному кроці інтегрування виконується 2-3 ітерації, що досить. Рівняння числового методу інтегрування диференціальних рівнянь об'єднуються з системою рівнянь, що описують електромагнітні і механічні процеси. Такий прийом дозволяє використовувати безпосередньо неявний метод числового інтегрування диференціальних рівнянь.

При розрахунку перехідного процесу в асинхронному двигуні запропонованим методом процесорний час скорочується більш ніж на 35% в порівнянні з розрахунками відомими методами.

***Ключові слова***: перехідні електромеханічні процеси, схемна інтерпретація, асинхронні двигуни.

## METHOD OF NUMERICAL CALCULATION OF ELECTROMECHANICAL TRANSIENT PROCESSES IN ASYNCHRONOUS ENGINES

**K. Mishchenko, D. Patalakh, O. Nabokova, S. Tikhovod**

***Summary***

Article is devoted to improvement of a numerical method of calculation of electromechanical transient processes in asynchronous engines. Electromechanical transient processes can be very long that leads to considerable time of calculation and accumulation of an error of calculation when even using modern software. The purpose of this work is development of the improved method of calculation of transient electromechanical processes in asynchronous engines which is implemented by the simple, but quick-acting computer program. Circuit interpretation of the developed method is offered. As the system of the equations which are describing dynamic of the asynchronous engine includes products of currents 1st rotor and 2nd stator this system is nonlinear one. On the current step of integration k the product of values of two currents 1 and 2 is considered as average value: variable – current 1 with the coefficient which is equal the of the value current 2 taken from the previous step of integration and variable – current 2 with the coefficient of the value current 1 from the previous step. For more accurate definition of this product on each step of integration 2-3 iterations are carried out and it is enough. The equations of a numerical method of integration of the differential equations are united with the system of the equations describing electromagnetic and mechanical processes. Such way allows using implicit method of numerical integration of the differential equations directly.

When process in the asynchronous engine is calculated by the offered method processor time is reduced moreover 35% in comparison with calculations by the known methods.

**Keywords:** electromechanical transient, circuit interpretation, asynchronous engine

**УДК 621.313.333.2** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-40**

# ОЦІНКА РІВНЯ ДЕФЕКТНОСТІ ШИХТОВАНИХ МАГНІТОПРОВОДІВ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ВИСОКОЧАСТОТНИМИ МЕТОДАМИ

**Чумак В. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-8401-7931**
**Тимощук О. Л., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0003-1863-3095**
**Ігнатюк Є. С., інженер,** **https://orcid.org/0000-0002-4675-8728**
**Стулішенко А. С., інженер** **https://orcid.org/0000-0001-9982-9246**
*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
e-mail: chumack_kpi@ukr.net

***Анотація*** - під час роботи електричної машини з шихтованими магнітопроводом, без пошкоджень, на частоті 50 Гц, основну складову втрат в активній сталі визначають втрати на гістерезис. При появі дефектів міжлистової ізоляції з'являється додатковий контур замикання вихрових струмів, що призводить до збільшення загальних магнітних втрат на перемагнічування, також перегріву магнітопроводу і машини в цілому. Втрати на вихрові струми зростають пропорційно квадрату частоти, в той час, коли втрати на гістерезис залишаються майже незмінними. Раніше відомі методи для контролю якості набраних сердечників вимагають багато часу і необхідних технічних навичок персоналу, тому питання спрощення визначення якості міжлистової ізоляції шихтованих магнітопроводів електричних машин є актуальним.

У даній статті експериментальним шляхом були визначені питомі втрати в досліджуваних дефектних і бездефектних магнітопроводах однієї серії, але різного габариту.

За допомогою польових методів в математичному пакеті COMSOL розраховано розподіл магнітної індукції при застосуванні нормативних методів випробувань магнітопроводу. Це дало можливість показати шляхи протікання магнітного потоку і визначити усереднену площу активної сталі при випробуваннях. Також на основі готової математичної моделі розраховано розподіл індукції по товщині листа на різних частотах в тому числі при впливі скін ефекту. На основі результатів розподілу втрат були побудовані залежності втрат на гістерезис і вихрові струми в магнітопроводах з дефектною і бездефектною ізоляцією.

Запропоновано метод оцінки розвиненості контуру паразитних вихрових струмів високочастотними впливами при врахуванні поверхневого ефекту в шихтованих магнітопроводах електричних машин тороїдальної форми.

***Ключові слова***: висока частота, генератор високої частоти, поверхневий ефект, питомі втрати, розподілення втрат, вихровий струм, розподіл магнітної індукції.

© Чумак В.В., Тимощук О.Л., Ігнатюк Є.С., Стулішенко А.С.

**Постановка проблеми.** При проектуванні електричної машини її робочі характеристики, оптимальні режими роботи, тепловий стан та багато інших факторів розраховуються використовуючи номінальні значення параметрів сталі, обмоток та загалом усіх матеріалів, які використовуються у машині. Проте, ці матеріали не завжди мають заявлені характеристики і якість. Наприклад під час виготовлення та штампування листів електротехнічної сталі вона зазнає значного рівня впливу, який певним чином впливає на її характеристики. До того ж, навіть якщо припустити, що під час виробництва всі етапи виготовлення матеріалу прийшли бездоганно, стан і як наслідок параметри матеріалів та ЕМ в цілому змінюються під час експлуатації в результаті аварійних ситуацій або навіть простого старіння і зносу.

Тож зважаючи на ці факти, стає зрозуміло, що під час запланованих чи незапланованих ремонтних робіт має сенс перевіряти стан матеріалів, ізоляції, оскільки від їх стану залежить допустимі навантаження, температурний режим і т.п. Зокрема стан магнітопроводу значною мірою визначає температуру навколо провідників в пазах і як результат визначає скільки реально прослужить обмотки на відміну від зазначеного терміну експлуатації та номінальної потужності на якій варто використовувати цю ЕМ.

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз зарубіжної літератури показав що, більшість наукових публікацій які вдалося знайти під дослідженням сталі магнітопроводів мають на увазі дослідження сталі, яка ще не зібрана в пакет статора.

Найпоширенішим методом є вимірювання втрат, представлений в [1,2], що називається вимірюванням петлі гістерезису. У цьому методі осердя намотується як трансформатор з двома обмотками: первинна обмотка використовується для збудження, а вторинна для вимірювання індукованої напруги. Втрати в осерді можуть бути розраховані шляхом інтегрування добутку вимірюваної напруги та струму, що проходить через первинну обмотку[3].

**Формулювання цілей статті.** Визначення розподілу втрат в магнітопроводі на гістерезис та вихрові струми для шихтованих магнітопроводів ЕМ загального призначення на промислових і високих частотах.

**Основна частина.**

Розподілення магнітної індукції в магнітопроводі

У математичному пакеті COMSOL Multiphysics на базі готової розрахункової моделі було розраховано розподілення магнітної індукції в одному досліджуваному магнітопроводі під час дослідження ватметровим методом. На рисунку 1 представлено розподіл магнітної індукції в магнітопроводі АД серії 4АА63В4У3

0,37 кВт. Пікове значення індукції відповідає положенню обмотки збудження.

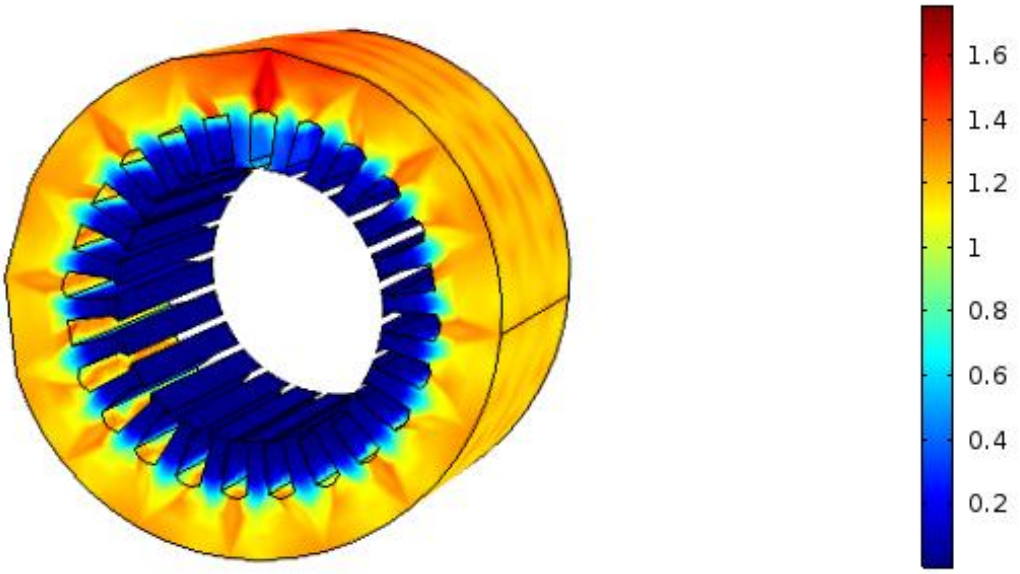



Рис. 1. Розподіл магнітної індукції у магнітопроводі АД серії 4АА63В4У3 0,37 кВт

Цей розрахунок візуально відображає шляхи протікання магнітного потоку, та підтверджує формули, що використовувались під час розрахунків, а саме – магнітний потік не заходить у зубці. Таким чином те, що для розрахунку площі активної сталі використовувалась висота лише спинки статора та те, що при розрахунку маси активної сталі розраховується лише маса спинки є теоретично і математично обґрунтованим.

Також на основі готової математичної моделі було розраховано розподіл індукції по товщині листа на різних частотах. Тобто представляє картину впливу поверхневого ефекту. На рисунку 2 зображено розподіл магнітної індукції в листі магнітопроводу при різних значеннях частоти.

Так, при частоті 50 Гц якій відповідає фіолетова лінія видно, що індукція розподіляється рівномірно по ширині листа, тобто повністю його пронизує. А зі збільшенням частоти видно, що в центрі листа значення індукції зменшується і майже дорівнює нулю, що говорить про те, що магнітний потік пронизує лист лише на поверхні та не проникає в глиб.

**Розділення виміряних втрат на складові**

Для цього було обрано метод Джордана, формула якого наступна:

$$p_{Ст} = p_г + p_в = C_г f \hat{B}^2 + C_в f^2 \hat{B}^2. \quad (1)$$

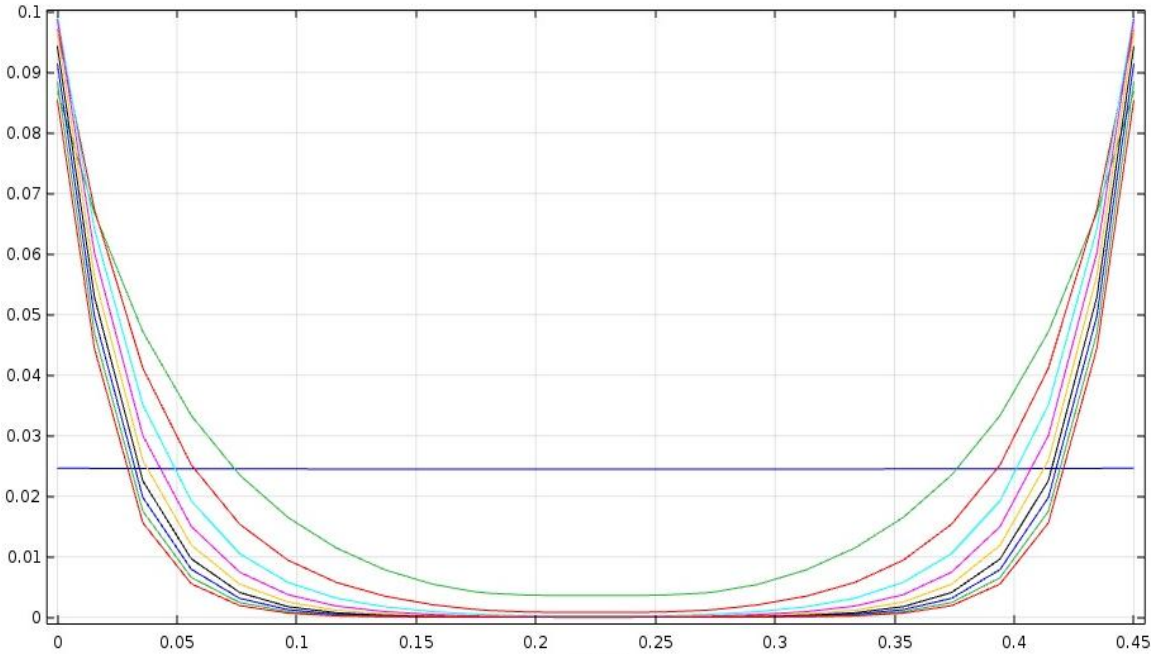



Рис. 2. Розподіл магнітної індукції по товщині листа в магнітопроводі АД серії 4АА63В4У3 0,37 кВт при різних значеннях частоти

Тож для розрахунку складових втрат необхідно отримати значення коефіцієнтів $C_г$ і $C_в$. Ці коефіцієнти є емпіричними. Для їх визначення були проведені експерименти [4] по визначення втрат в магнітопроводі при різних значеннях частоти та індукції за схемою на рисунку 3.

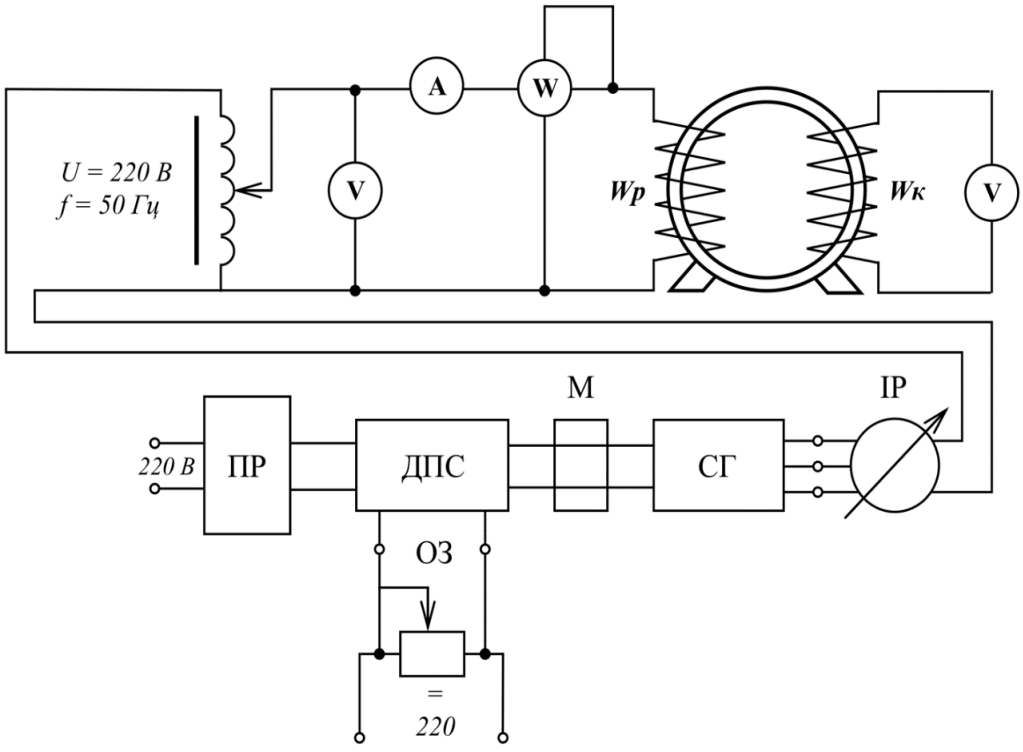



Рис. 3. Схема ватметрового методу для роботи на частоті відмінній від 50 Гц

На основі результатів розподілу втрат було побудовано графік залежності кожного виду втрат від повного значення втрат для випадку без (рис. 4) та при наявності дефекту міжлистової ізоляції (рис. 5).

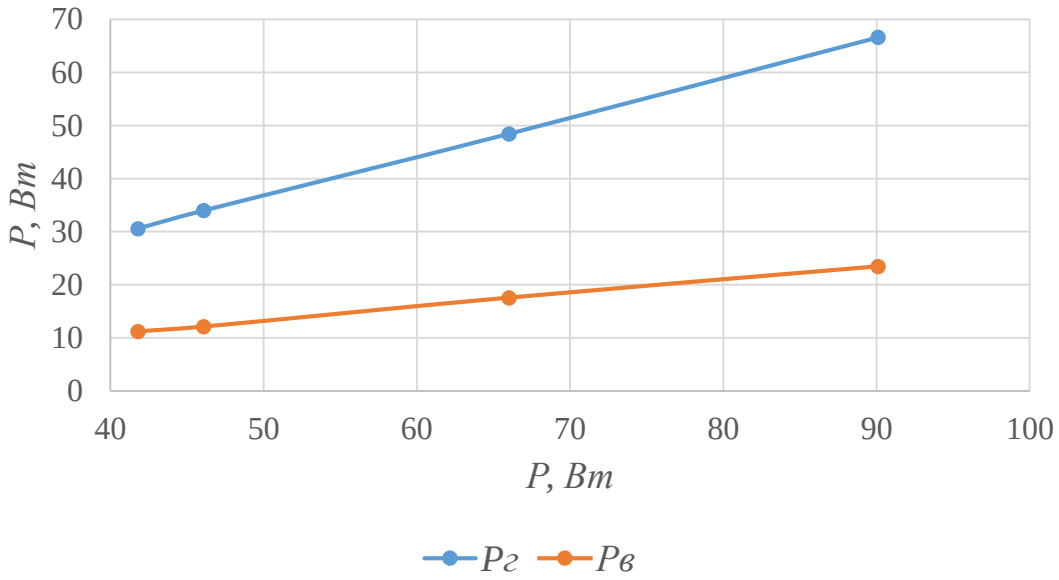



Рис. 4. Графік залежності обох складових втрат у сталі від повних втрат в сталі

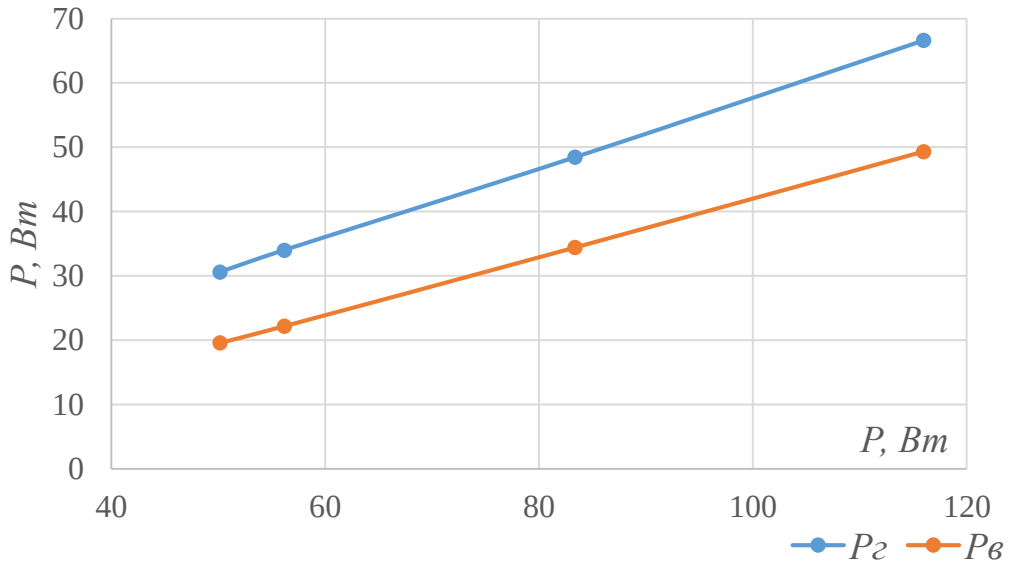



Рис. 5. Графік залежності обох складових втрат у сталі від повних втрат в сталі для випадку зі штучним дефектом

При порівнянні двох графіків видно, що з появою дефекту пряма втрат на вихрові струми стала більш крутою, що говорить про збільшення саме цієї складової втрат, в той час як характер прямої втрат на гістерезис не змінився [5,6].

**Запропонований метод досліджень**

Як сказано вище, при погіршенні стану магнітопроводу збільшується складова втрат на вихрові струми, тож варто використати цю особливість у розроблюваному методі. Характерною відмінністю вихрових струмів є те, що вони залежать від квадрату частоти на відміну від втрат на вихрові струми, цей факт також можна використати. Маючи на увазі ці два факти, пропонується використовувати методику, яка базується на впливі вихрових струмів та поверхневому ефекті на частотах, вище промислової.

Ідея методу полягає в наступному: кожен вихровий струм, при протіканні, створює свій власний магнітний потік, потоки від вихрових струмів взаємодіють з основним магнітним потоком і оскільки ці потоки направлені зустрічно, відносно основного, то відбувається послаблення результуючого магнітного потоку. Таким чином, оскільки у проблемного магнітопроводу втрати на вихрові струми збільшені, то в ньому можна спостерігати більш сильне послаблення магнітного потоку.

Для того, щоб отримати більш наглядні та виразні результати пропонується проводити виміри на частотах вище 50 Гц. Оскільки на частоті вище частоти мережі починає проявлятись поверхневий ефект і втрати будуть зростати по квадратичному закону. При збільшенні частоти діють дві протидіючі тенденції, перша – зі збільшенням частоти зростають втрати в сталі, а саме втрати на гістерезис зростають лінійно, а втрати на вихрові струми зростають квадратично і друга тенденція – проявляється поверхневий ефект, що призводить до зменшення активного перерізу листа магнітопроводу і як результат падає потік і втрати також зменшуються [7]. Тому не достатньо просто задатися високим значенням частоти, а необхідно визначати найбільш підходящі значення частоти, на яких розмагнічуючий ефект від вихрових струмів є найбільш наглядним.

А методика яка базується на цьому методі буде наступною – на магнітопровід необхідно намотати декілька витків робочої обмотки, на яку буде подаватись живлення від генератора частоти та один виток вимірювальної обмотки.

**Експериментальна перевірка методу**

Щоб перевірити чи запропонована методика справді має результати які очікуються опираючись на фізичні залежності, було проведено низку експериментів на магнітопроводах різних розмірів та стану міжлистової ізоляції. Для цього було зібрано схему, яка описана вище, та знято значення напруги на вторинній обмотці при діапазоні частот від 50 Гц до 20 кГц. Далі будуть приведені результати експериментів для кожного з досліджуваних магнітопроводів.

**Результати досліджень.**

Графік залежності напруги від частоти для магнітопроводу АД серії 4АА63В4У3 0,37 кВт показано на рисунку 6.

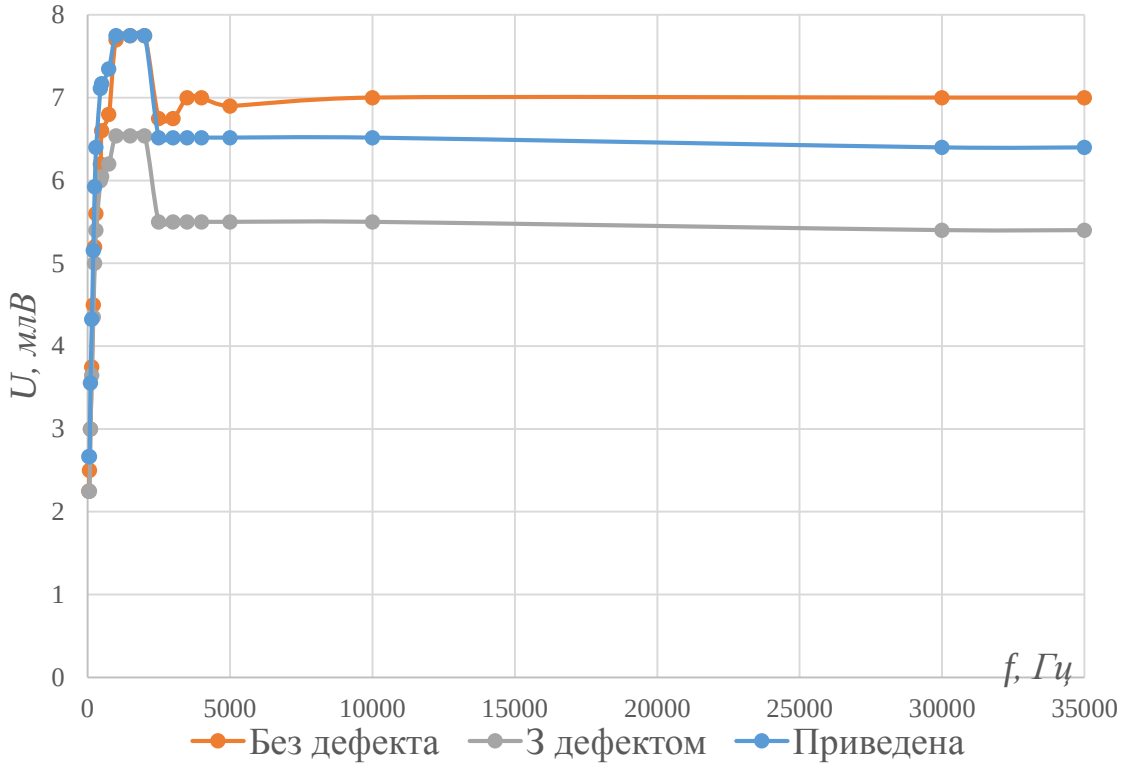



Рис. 6. Графік залежності напруги вимірювальної обмотки від частоти для магнітопроводу АД серії 4АА63В4У3 0,37 кВт

Приведення виконувалось наступним чином, кожна точка кривої для випадку з витком було помножено на коефіцієнт, що являє собою відношення між значеннями у точці максимально значення напруги. У цьому випадку це точка 750 Гц, а визначення коефіцієнта представлено в рівнянні (2).

$$k = \frac{U_{max.\text{без витка}}}{U_{max.\text{з витком}}} = \frac{7{,}75}{6{,}54} = 1{,}1 \qquad (2)$$

Таким чином максимальне значення графіка для випадку без витка та приведеної кривої будуть співпадати і буде дуже наглядно видно різницю між дефектним та бездефектним магнітопроводом. Аналогічні кроки було виконано для магнітопроводів, де точки значення напруги при частоті 1 кГц не співпадають.

Кривій для магнітопроводу без дефекту відповідають питомі втрати 3,92 $\frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$, а з дефектом - 5,85 $\frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$.

Графік залежності напруги від частоти для магнітопроводу АД 4А71В4У3 0,75 кВт показано на рисунку 7.

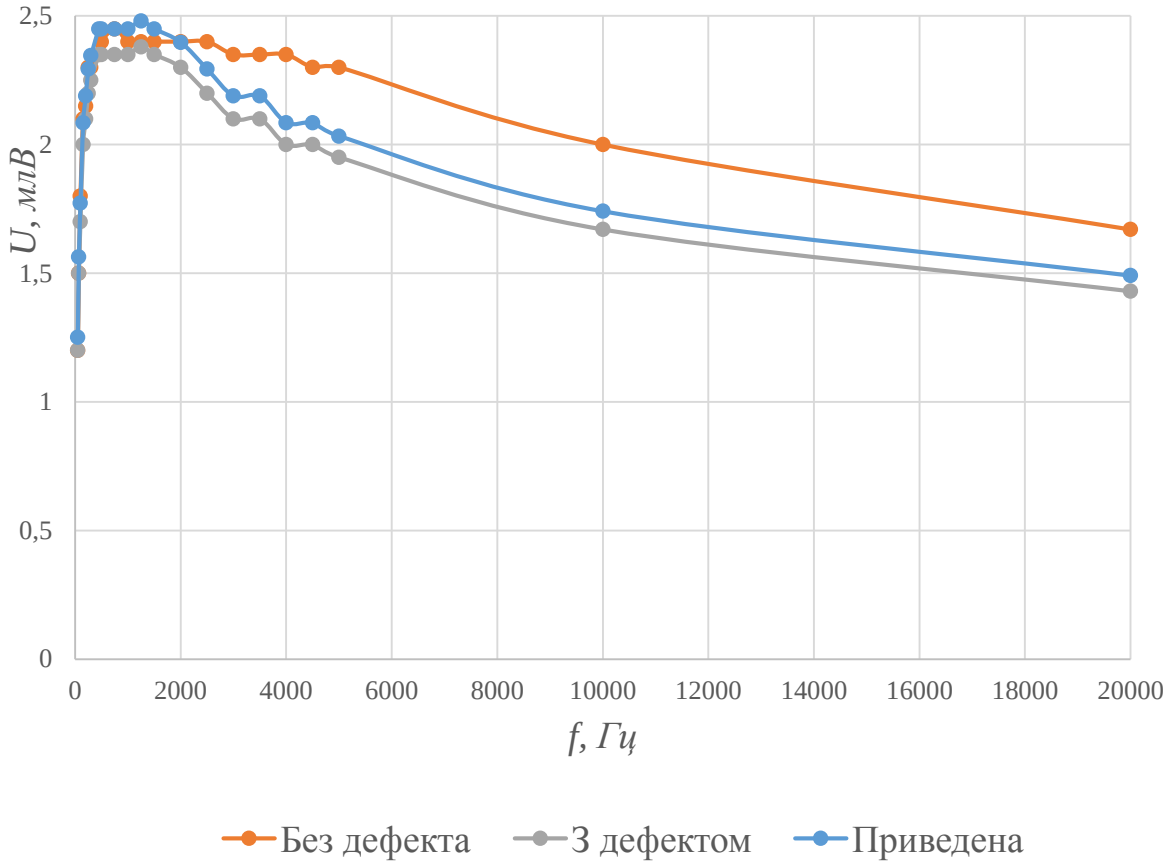



Рис. 7. Графік залежності напруги вимірювальної обмотки від частоти для магнітопроводу АД серії 4А71В4У3 0,75 кВт

Кривій для магнітопроводу без дефекту відповідають питомі втрати 5,03 $\frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$, а з дефектом - 6,7 $\frac{\text{Вт}}{\text{кг}}$.

Графік залежності напруги від частоти для частини магнітопроводу АД серії 4А90L2У3 3 кВт показано на рисунку 8. У цьому випадку не знадобилося робити приведення, оскільки максимальне значення напруги співпадає для обох випадків.

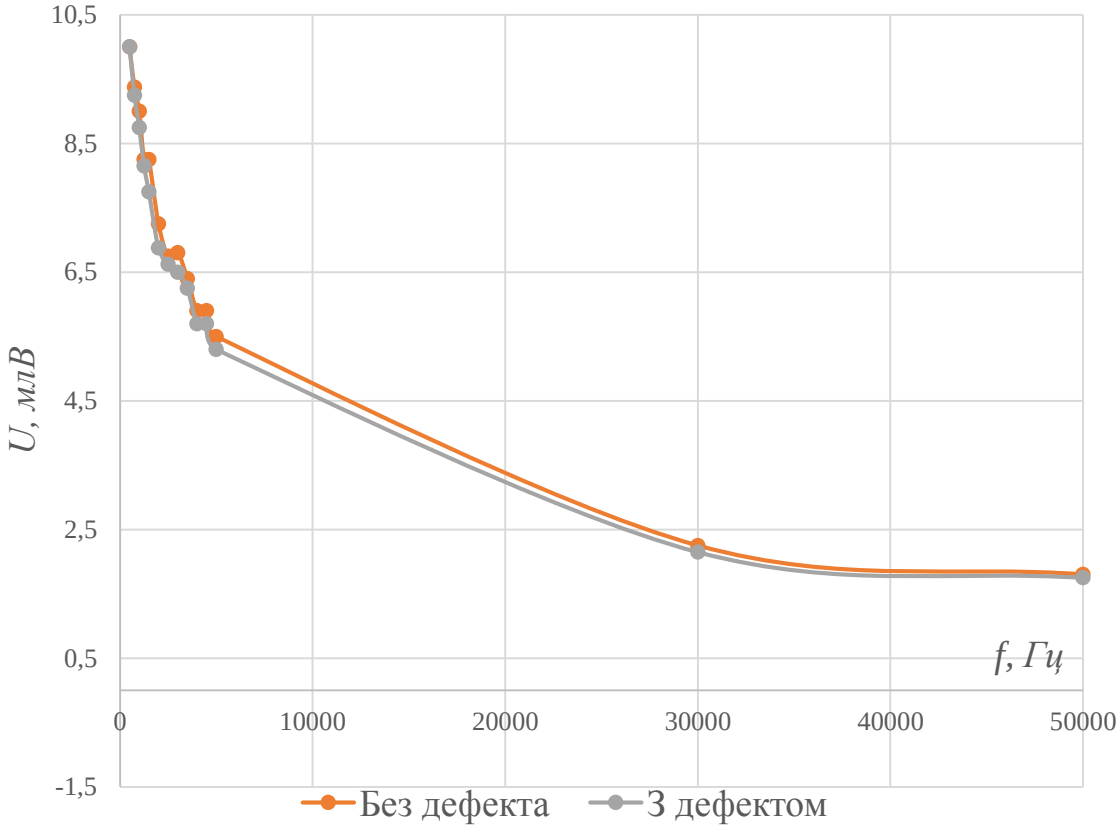



Рис. 8. Графік залежності напруги вимірювальної обмотки від частоти для частини магнітопроводу АД серії 4А90L2У3 3 кВт

**Аналіз результатів.** Як видно з результатів експериментів, методика підтверджується стосовно того, що магнітопроводи з більшими питомими втратами мають менше значення напруги на вимірювальній обмотці [8,9]. Для магнітопроводу АД серії 4А90L2У3 3 кВт різниця між випадком без витка та з ним не зовсім наглядна, хоча й результати дослідження третього магнітопроводу підтверджують загальну тенденцію. Оскільки цей магнітопровід навіть без витка має високе значення втрат, то його подальше погіршення не так сильно позначається на результатах, у порівнянні з іншими магнітопроводами.

**Висновки.** В результаті теоритичного та експериментального аналізу було визначено питомі втрати в шихтованих магнітопроводах електричних машин загального призначення різного ступеня дефектності.

За допомогою польової математичної моделі розраховано розподіл магнітного поля в магнітопроводі під час дослідження ватметровим методом, що візуально показало шляхи замикання силових ліній дозволило визначити середню індукцію і усереднений переріз магнітопроводу. Також на основі готової моделі розраховано

розподіл індукції по ширині листа на різних частотах, що наглядно відображає дію поверхневого ефекту.

Математичним методом проведено розділення втрат, отриманих під час реалізації ватметрового методу, на складові, з урахуванням мають припущення, що втрати на гістерезис не змінюються при погіршенні стану магнітопроводу. Аналіз розподілу втрат показав, що при погіршенні стану міжлистової ізоляції магнітопроводу збільшуються саме втрати на вихрові струми.

При експериментальному дослідженні неробочого ходу двигуна двигуна серії 4А100L6У3, доведено, що між питомими втратами окремо взятого магнітопроводу та втратами в сталі зібраної ЕМ існує пряма кореляція – погіршення стану ізоляції магнітопроводу, і як результат, збільшення його питомих втрат, що призводить до збільшення втрат у активної сталі.

Запропоновано високочастотний метод оцінки якості міжлистової ізоляції шляхом оцінки інтенсивності вихрових струмів в магнітопроводі на різних частотах.

**Список літератури.**

1. V. J. Thottuvelil T.G. Wilson, and HA Owen Jr, “High-frequency measurement techniques for magnetic cores,” Power Electron. IEEE Trans., vol. 5, no. 1, pp. 41–53, 1990.

2. M. Mu, Q. Li, D. J. Gilham, F. C. Lee, and K. D. T. Ngo, “New Core Loss Measurement Method for High-Frequency Magnetic Materials,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 29, no. 8, pp. 4374–4381, Aug. 2014.

3. J. Mühlethaler, J. Biela, J. W. Kolar, A. Ecklebe, J. Muhlethaler, J. Biela, J. W. Kolar, and A. Ecklebe, “Core losses under the DC bias condition based on steinmetz parameters,” IEEE Trans. Power Electron., vol. 27, no. 2, pp. 953–963, Feb. 2012.

4. H. Kosai, Z. Turgut, and J. Scofield, “Experimental Investigation of DC-Bias Related Core Losses in a Boost Inductor,” IEEE Trans. Magn., vol. 49, no. 7, pp. 4168–4171, Jul. 2013.

5. B. Carsten, “Why the Magnetics Designer Should Measure Core Loss; with a Survey of Loss Measurement Techniques and a Low Cost, High Accuracy Alternative,” in Proc. Power Convers. Intell. Motion, pp. 163–179, 1995.

6. A. Van den Bossche, V. Valchev, and G. Georgiev, “Measurement and loss model of ferrites with non-sinusoidal waveforms,” in IEEE 35th Annual Power Electronics Specialists Conference (PESC), vol. 6, 2004, pp. 4814–4818.

7. H. Jordan, “Die ferromagnetischen konstanten für schwache wechselfelder,” Elektrische Nachrichtentechnik, vol. 1, p. 8, 1924.

8. R. Boll, Weichmagnetische Werkstoffe, 4th ed. Vacuumschmelze GmbH, Hanau, Germany, 1990, ISBN: 3800915464.

9. R. H. Pry and C. P. Bean, “Calculation of the energy loss in magnetic sheet materials using a domain model,” Journal of Applied Physics, vol. 29, no. 3, pp. 532–533, 1958.

## ОЦЕНКА УРОВНЯ ДЕФЕКТНОСТИ ШИХТОВАННЫХ МАГНИТОПРОВОДОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ВЫСОКОЧАСТОТНЫМИ МЕТОДАМИ

**В. В. Чумак, О. Л. Тимощук, Є. С. Ігнатюк, А. С. Стулішенко**

***Аннотация***

Во время работы электрической машины с шихтованными магнитопроводом, без повреждений, на частоте 50 Гц, основную составляющую потерь в активной стали определяют потери на гистерезис. При появлении дефектов межлистовой изоляции появляется дополнительный контур замыкания вихревых токов, что приводит к увеличению общих магнитных потерь на перемагничивание, также перегрева магнитопровода и машины в целом. Потери на вихревые токи возрастают пропорционально квадрату частоты, в то время, когда потери на гистерезис остаются почти неизменными. Ранее известные методы для контроля качества наборных сердечников требуют много времени и необходимых технических навыков персонала, поэтому вопрос упрощения определения качества межлистовой изоляции шихтованных магнитопроводов электрических машин является актуальным.

В данной статье экспериментальным путем были определены удельные потери в исследуемых дефектных и бездефектных магнитопроводах одной серии, но разного габарита.

С помощью полевых методов в математическом пакете COMSOL рассчитано распределение магнитной индукции при применении нормативных методов испытаний магнитопровода. Эта дало возможность показать пути протекания магнитного потока и определить усредненную площадь активной стали при испытаниях. Также на основе готовой математической модели рассчитано распределение индукции по толщине листа на разных частотах в том числе при влиянии скин эффекта. На основании результатов распределения потерь были построены зависимости потерь на гистерезис и на вихревые токи в магнитопроводах с дефектной и бездефектной изоляцией.

Предложен метод оценки развитости контура паразитных вихревых токов высокочастотными воздействиями при учете поверхностного эффекта в шихтованных магнитопроводах электрических машин тороидальной формы.

**Ключевые слова:** высокая частота, генератор высокой частоты, поверхностный эффект, удельные потери, распределения потерь, вихревой ток, распределение магнитной индукции.

# EVALUATION OF THE DEFECT LEVEL OF ELECTRICAL MACHINES BY HIGH-FREQUENCY METHODS

**V. Chumak, O. Tymoshchuk, Y. Ihnatiuk, A. Stulishenko**

***Summary***

During operation of an electric machine with laminated magnetic core, without damage, at a frequency of 50 Hz, the main component of losses in active steel is determined by the hysteresis loss. At occurrence of defects in the interlayer insulation, an additional circuit of the eddy currents appears, which leads to an increase in the total magnetic losses on hysteresis, as well as overheating of the magnetic circuit and the machine as a whole. The eddy current losses increase in proportion to the square of the frequency, while the hysteresis losses remain almost unchanged. Previously known methods for quality control of dialed cores require a lot of time and the necessary technical skills of personnel, therefore, the question of simplifying the determination of the quality of the inter-sheet insulation of laminated magnetic cores of electrical machines is relevant.

In this article, experimentally determined the specific losses in the studied defect and defect-free magnetic cores of the same series, but of different size.

With the help of field methods in the mathematical package COMSOL, the distribution of magnetic induction is calculated with the application of the standard test methods of the magnetic core. This made it possible to show the paths of magnetic flux and to determine the average active steel area under test. Also, on the basis of the finished mathematical model, the distribution of induction over the sheet thickness at different frequencies, including the effect of the skin effect, is calculated. Based on the results of the loss distribution, the dependences of losses on hysteresis and eddy currents in magnetic circuits with defective and defect-free insulation were constructed.

A method is proposed for estimating the development of the contour of parasitic eddy currents by high-frequency effects taking into account the surface effect in laminated magnetic cores of toroidal electric machines.

***Keywords:*** high frequency, high frequency generator, skin effect, specific losses, loss distributions, eddy current, magnetic induction distribution.

**УДК 631.37:621.313** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-41**

# ПАРАМЕТРИ КОНТРОЛЮ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ

**Попова І. О., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0001-5429-8269**
**Попрядухін В. С., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-5061-9739**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: *etem@tsatu.edu.ua* (0619)42-31-59

***Анотація*** **–** в роботі проаналізовано умови роботи, причини аварійних режимів, види аварій асинхронних двигунів в АПК. Наведена класифікація параметрів, за якими контролюються аварійні режими роботи АД. Найбільш інформативні параметри: сила струму, величина напруги і температура окремих частин конструкції АД. Для більшості АД, що працюють в АПК, рекомендовано використовувати комбіновані діагностуючі і захисні пристрої, що контролюють декілька параметрів одночасно. Такий підхід дозволить захистити від кількох аварійних режимів.

***Ключові слова*****:** параметри, захисний пристрій аварійний режим, асинхронний двигун.

**Постановка проблеми.** Оскільки асинхронний двигун з короткозамкненим ротором має просту конструкцію, високу надійність і невисоку вартість, тому є найбільш розповсюдженим у промисловості і агропромисловому комплексі. Більш 85 % від всіх електричних машин – це трифазні асинхронні електродвигуни. Асинхронні двигуни (АД) звичайно розраховані на строк служби 15-20 років без капітального ремонту, за умови їх правильної експлуатації. Однак при реальній експлуатації режим їх роботи може значно відрізнятися від нормального, що відповідає номінальним параметрам, вказаним у паспортних даних електродвигуна [1].

АД у сільськогосподарському виробництві працюють у важких специфічних умовах, до яких відносяться діапазон температур навколишнього середовища, висока вологість, агресивність середовища, в тому числі випаровування аміаку. До специфічних умов експлуатації слід віднести низьку якість електричної енергії, зокрема, відхилення напруги на затискачах електроспоживачів у три-чотири рази перевищує допустимі ДСТУ значення [2].

На стабільність і, особливо, на симетричність напруги трифазної мережі впливають відносно довгі лінії електропередачі і змішане підключення трифазних і однофазних споживачів. Несиметрію напруги сільських електричних мереж в основному викликають

© Попова І. О., Попрядухін В. С.

включення однофазних виробничих, побутових і освітлювальних споживачів, потужність яких іноді співвідносна з трифазним навантаженням. За даними досліджень нерівномірність розподілення навантаження за фазами характерна для любого розподільчого трансформатора сільських електричних мереж, причому, до 40 % розподільчих трансформаторів мають недопустиму несиметрію навантажень за фазами [1]. Навіть за умовою рівномірного приєднання навантажень у мережах 0,38 кВ однофазних приймачів, можлива несиметрія навантажень, оскільки кожний з електроспоживачів може бути включений або виключений в залежності від випадкових обставин і незалежно від інших приймачів електроенергії [2]. В вочевидь, що застосування надійного і ефективного захисного пристрою від аварійного режиму роботи значно скоротить кількість і частоту аварійних ситуацій і подовжить строк службі асинхронного двигуна, скоротить витрати електроенергії і експлуатаційні витрати. Для того, щоб вибрати ефективний захист треба знати параметри, які треба контролювати в асинхронному двигуні.

**Аналіз останніх досліджень.** Аварії АД підрозділяються на два основних типи: механічні і електричні. Причиною більшості механічних аварій є радіальні вібрації, викликані несиметрію напруги мережі (так званий перекіс фаз), механічні перевантаження на валу електродвигуна, брак комплектуючих елементів або допущений під час зборки.

Електричні аварії АД, в свою чергу, діляться на три типи:

- аварії, що пов’язані з напругою живлячої електричної мережі;
- так звані струмові аварії, що пов’язані з обривом провідників в обмотках статора, ротора, між виткові і між фазні замикання обмоток, порушення контактів і руйнування з’єднань, виконаних пайкою або зваркою; аварії, що приводять до пробою ізоляції в результаті нагріву, викликаного протіканням струмів перевантаження або короткого замикання;
- аварії, що пов’язані зі зниженням опору ізоляції в наслідок її старіння, руйнування або зволоження.

Через аварії на підстанціях, короткі замикання розподільчих мереж, перехідні процеси в мережах, викликаних комутаційними діями, виникають значні відхилення у якості електричної енергії: напруги і частоти, коефіцієнтів зворотної і нульової гармонічної складової напруги. Тим більше навантаження кожної фази електричної мережі змінюється в часі поза зв'язку зі зміною навантаження інших фаз, несиметричні режими роботи мають місце

навіть за умови рівномірного приєднання однофазних електроприймачів по фазах мережі [1, 2].

Напруга на зажимах АД і фазні струми, що течуть в його обмотках, тісно пов'язані і будь-які, навіть незначні, зміни напруги мережі, викликають значні зміни фазних струмів

Доволі часто у сільськогосподарському виробництві спостерігаються випадки, коли електропривод сільськогосподарських машин працює від джерел сумірної потужності і при напрузі, значно меншому, а іноді і більшому з номінальне: у тваринницьких приміщеннях господарств середнє значення напруги живлячої мережі змінюється від 170 В до 260 В [3,4].

Перелічені вище експлуатаційні особливості сільськогосподарчих машин створюють значні труднощі при роботі асинхронних двигунів і, особливо, при виборі пристроїв діагностування їхнього режиму роботи і захисту від аварійних режимів. Питаннями дослідження експлуатаційної надійності електродвигунів і аналізом їх аварійних режимів займалися М.С. Левін, Н.А. Корчемний, В.В. Овчаров, І.І. Мартиненко, С.М. Рожавский, І.А. Сиромятников, В.Ф. Тубіс та інші вчені.

**Формулювання цілей статті.** Проаналізувати причини пошкоджень асинхронних двигунів в АПК і систематизувати параметри, за якими діагностуються аварійні режими АД з короткозамкненим ротором у сільському господарстві.

**Основні матеріали дослідження.** Сучасна промисловість України виробляє АД серій 4А, 4АМ, АИР, 5А, в тому числі і спеціального сільскогосподарчого виконання. Але щорічно виходить з ладу до чверті асинхронних двигунів, що працюють у сільському господарстві. Фактичний строк службі АД в АПК доволі низький [1]. Основною причиною виходу їх з ладу є аварійні режими. У більшості випадків вихід з ладу АД відбувається через пошкодження обмотки статора з причин: несиметрію напруги мережі, обриву фаз двигуна і ліній мережі, заклинювання або перевантаження ротору, руйнування підшипникового вузлу тощо.

З вищесказаного слід, що несиметрія фазних напруги і обрив фазного проводу є однією з основних причин виходу з ладу АД. Несиметрія напруги проявляється у різкому погіршенні техніко-економічних характеристик електродвигунів (збільшенню сил струмів в обмотках статора, підвищенню втрат активної енергії, підвищеному нагріву його складових частин, зниженню експлуатаційної надійності і скороченню строку служби АД.

Для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів, що експлуатуються у сільгоспвиробництві при несиметрію

фазних напруг, необхідно вдосконалювати засоби діагностики. Це дозволить експлуатаційному персоналу мати точні дані про режим роботи електрообладнання, стан робочих частин, безпомилково визначити час його відключення від джерела живлення, зменшити знос ізоляції, число відмов і аварійних виходів з ладу АД.

В пристроях діагностування і захисту чутливим органом здійснюється контроль одного або декількох параметрів, що характеризують технічний стан обладнання.

Для аналізу існуючих засобів діагностування і захисту, доцільно розбити їх на групи за параметром, що контролює чутливий орган (рис.1) [1].

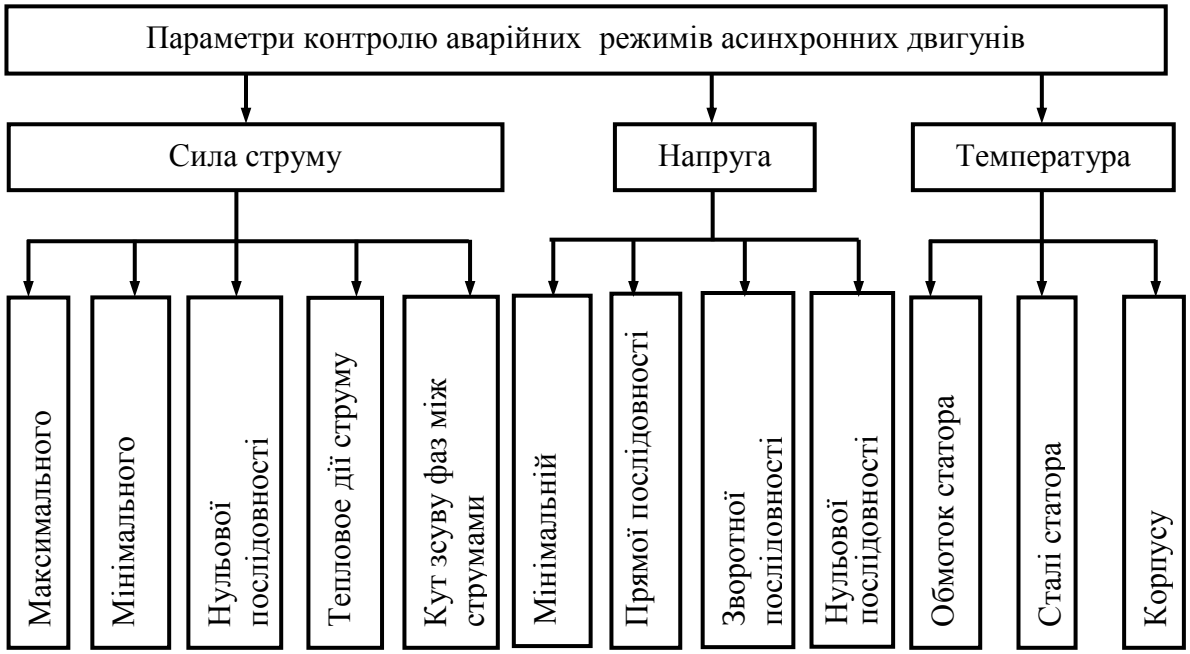



Рисунок 1– Классификация параметрів діагностування аварійних режимів АД

Діагностування режимів роботи асинхронних двигунів здійснюється за:

- силою струму, зокрема: максимального, прямої, зворотної і нульової послідовностей, куту зсуву фаз між струмами, що споживаються, і тепловій дії струму;
- напругою, зокрема: мінімальною, прямої, нульової і зворотної послідовностей;
- температурою обмоток статора, сталі статора і корпусу [2].

Найбільш розповсюджені пристрої захисту, що реагують на зміну величини сили струму в обмотках асинхронного двигуна. До них відносяться, так звані, струмі захисти, в яких працюють струмові реле, що працюють на електромагнітному, індукційному принципах та

теплові реле, що реагують на величину тепла, яке виділяється в результаті протікання струму по спеціальних елементах. Розрізняються два види струмового перевантаження: симетричний і несиметричний. Симетричний струмове перевантаження, як правило, пов'язане з механічними перевантаженнями на валу двигуна. Його можна контролювати тепловими реле (типу ТРЛ, РТТ) і тепловими розчеплювачами автоматичних вимикачів. Механічне перевантаження на валу АД викликає тепловий перегрів обмоток. Більшість струмових аварій АД пов’язана з пошкодженнями всередині двигуна: обрив однієї фази в обмотці статора; міжвиткові замикання, між фазні замикання. Від струмових перевантажень найбільш поширений захист отримали автоматичні вимикачі АВ-2000, АП-50, АВ3000, а також МР, МА (Німеччина) з електромагнітним розчеплювачем або запобіжники, які мають значний розкид захисних характеристик. Від механічних перевантажень РТ-40, УМЗ-5, ЭТ-522 або теплові реле. Для контролю струмів прямої послідовності в мережах використовують реле РТФ-1, зворотної послідовності – РТФ-6М, РТФ-7/1. Основним недоліком струмових реле є відключення АД під час пуску, її треба блокувати на термін пуску. До струмового захисту можна віднести пристрої захисту, що контролюють кут між лінійними струмами АД. Фазочутливі пристрої захисту типу ФУЗ використовуються для контролю і захисту АД від неповнофазних режимів роботи.

В пристроях захисту за напругою, як правило, мають місце фільтри напруги прямої, зворотної і нульової послідовності, а параметрами контролю є напруга прямої, зворотної і нульової послідовностей. Такі пристрої діагностики застосовують для захисту від несиметрію напруги і неповнофазних режимів асинхронних двигунів. Промисловість випускає спеціальні реле обриву фаз типів Е-511, ЕЛ-8, ЕЛ-10, призначених для захисту АД від обриву фаз, в яких є фільтр напруги зворотної послідовності типу RC. Реле напруги РНФ-2 має фільтр напруги прямої послідовності, який використовують як реле контролю мінімальної напруги. Для контролю напруги зміщення нейтралі використовують реле з фільтрами нульової послідовності. Перевагами фільтрових захистів напруги - це висока чутливість до перекосу фазних напруг. А недоліком є те, що вони контролюють напругу до місця підключення датчика аварійних режимів, але не реагують на обрив фазного проводу після нього.

В температурному захисті двигунів в якості датчика температури використовують напівпровідникові елементи (позистори СТ14-1), які вбудовуються в лобові частини статорних обмоток, магнітопровід або

корпус двигуна. Температурний захист забезпечую захист від тривалих перевантажень двигуна. Прикладом таких захистів є пристрої типу УВТЗ, АТВ-229. В Угорщині випускаються реле типа DŠTv-250s з термісторами типу PT-145.

Взагалі, пристрої захисту можна підрозділити на три групи: спеціальні пристрої, що контролюють один параметр і захищають від одного аварійного режиму, наприклад, обриву фази; універсальні, які захищають при декількох аварійних ситуаціях (теплові реле, УВТЗ) і комбіновані, які контролюють декілька параметрів одночасно і захищають від багатьох аварійних режимів. Для підвищення ефективності роботи деяких захистів, доцільно комбінувати їх, наприклад: струмово-фільтрова, струмово-теплова або температурно-струмова [2]. Наприклад, для підвищення ефективності роботи струмового захисту, доцільно доповнювати його контролем температури обмоток, осердя, корпусу: ФУЗ-М, ФУЗ-У, ФУЗ-Т [3].

Ефективність пристроїв захисту залежить від комбінації контрольованих параметрів, передбачених у захисті. Наприклад, комбінація з теплового і фільтрового захисту в поєднанні з струмовим використовується в станціях керування погружними насосами. Більш вдала комбінація температурного і фільтрового захисту. Для більшості АД в сільському господарстві краще використовувати комбіновані захисні пристрої, з причин різноманіття специфічних умов, за якими вони працюють. Перевагою комплексних захистів АД є можливість вибору таких параметрів контролю, що реагують на типові для даної робочої машини аварійні ситуації. Особливо це стосуються тих АД, що працюють у поточних технологічних лініях.

**Висновок.** Параметрами, за якими контролюються аварійні режими роботи АД є сила струму, величина напруги і температура окремих частин конструкції АД. Для більшості АД, що працюють в АПК, слід використовувати комбіновані діагностуючі і захисні пристрої, що контролюють декілька параметрів одночасно і захищають від багатьох аварійних режимів.

**Список використаних джерел**

1. *Кондратюк О. Ю. Егоров А. Б.* Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты. *Системи обробки інформації*. 2006. Вип. 4(53). С.79-86.

2. *Попова І. О.* Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрію напруг мережі: автореф. дис… кандидата техн. наук. Мелітополь: 2003. 20 с.

3. *Закладний О. М., Прокопенко В. В., Закладний О. О.* Захист як складник системи функціонального діагностування асинхронних електродвигунів. *Промелектро*. 2010. №4. С. 36–40.

# ПАРАМЕТРЫ КОНТРОЛЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

**Попова И. А., Попрядухин В. С.**

***Аннотация*** **–** в работе проанализированы условия работы, причины, аварийных режимов, виды аварий асинхронных двигателей в АПК. Приведена классификация параметров, по которым контролируются аварийные режимы работы АД. Выделены наиболее информативные параметры: сила тока, величина напряжения и температура отдельных частей конструкции асинхронного двигателя. Для большинства АД, работающих в АПК, рекомендуется использовать комбинированные диагностирующие и защитные устройства, контролирующие несколько параметров одновременно. Такой подход защитит от нескольких аварийных режимов.

***Ключевые слова*****:** *параметры, защитное устройство, аварийный режим, асинхронный двигатель.*

# PARAMETERS OF CONTROL OF UNBALANCED WORK OF ASYNCHRONOUS MOTOR VEHICLES

**I. Popova, V. Popryadukhin**

**Summary**

Since the induction motor squirrel cage has a simple design, high reliability and low cost, so it is most common in industry and agriculture. More than 85% of all electric machines are three-phase asynchronous motors. Asynchronous motors are designed for the service life of 15-20 years without major repairs. In real operation mode of operation may differ significantly from normal. The specific conditions of the work of asynchronous motors in agriculture are analyzed: a large range of ambient temperatures, high humidity, aggressiveness of the environment, including the evaporation of ammonia, low quality of electric energy, in particular, voltage deviation, frequency, voltage unbalance, higher harmonics or components. Electric currents are divided into three types: accidents connected with the voltage of the feeding electric network; current accidents and accidents, which are related to the decrease of resistance of insulation and the reasons causing them. One of the common causes of failure of asynchronous motors is a phase voltage unbalance and a breakdown of phase wires. One of the common causes of failure of asynchronous motors is a phase voltage unbalance and a breakdown of phase wires. The classification of parameters for diagnosing emergency modes is given, according to which diagnosing of operating modes of asynchronous motors is carried out by: current strength, in particular: maximum, direct, reverse and zero sequences, angle of phase shift between consumed currents and thermal effects of current; voltage, in particular: minimum, direct, zero and reverse sequences; the temperature of the stator windings, the stator steel and the housing. Examples of protective devices with different control parameters are given.

**Key words:** parameters, emergency device emergency mode, asynchronous motor.

**УДК 628.8: 378** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-42**

# ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ В НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

**Радько І. П., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-4235-3969**
**Наливайко В. А., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0002-6297-9045**
**Окушко О. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-1894-5294**
*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
*E-mail*: oaleks@ukr.net

***Анотація*** - сучасне життя людства немислиме без використання енергії (електричної, теплової та ін.). Широке використання енергетичних ресурсів стало ознакою модерного розвитку економіки та підвищення добробуту людини. Основна кількість енергії надходить внаслідок спалювання газу або іншого твердого палива, запаси яких стрімко зменшуються. Тому з кожним роком стає все гострішою проблема забезпечення енергоносіями. Внаслідок цього ми спостерігаємо стійке підвищення тарифів на енергоресурси та енергоносії. Саме тому сьогодні досить гострою є проблема збереження та ефективного використання енергоресурсів. Щорічно на житлові та побутові потреби населення України витрачається близько 20 – 30 % паливно-енергетичних ресурсів в т.ч. електричної та теплової енергії, тобто на одного жителя витрачається приблизно 1,3 тонни умовного палива на рік, що майже у 2 рази більше, ніж в розвинених країнах. Основний стратегічний напрямок підвищення енергоефективності та реалізації потенціалу енергозбереження полягає у структурно-технологічній перебудові економіки України, а саме, створенні адміністративних, нормативно-правових і економічних механізмів, які сприятимуть підвищенню енергоефективності та енергозбереженню. Така структурно-технологічна перебудова економіки країни в цілому, та її окремих галузей, підприємств та технологічних процесів передбачає виведення з роботи морально застарілого та фізично зношеного обладнання, припинення випуску енергозатратної продукції, впровадження у виробництво новітніх технологій, обладнання, тощо. Важливим фактором підвищення енергоефективності є забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки всіх суб'єктів економічної діяльності у вирішенні питань оптимізації енергоспоживання та енергозбереження. Марнотратство у витраті паливно-енергетичних ресурсів обумовлені не тільки неефективними інженерними рішеннями, які стосуються конструктивного і технічного забезпечення будинків і споруд, а і недосконалою системою контролю і керування за використанням паливно-енергетичних ресурсів. В даній роботі проаналізовано сучасний стан використання паливно-енергетичних ресурсів внаслідок їх ефективності використання. Обґрунтовано доцільність вдосконалення основних технічних заходів на всіх етапах споживання енергоносіїв, а саме проведення повної модернізації всього електротехнічного обладнання, підвищенням якості його обслуговування і своєчасного ремонту, пошуку сучасних методів і режимів його експлуатації, розробки ефективних інструментів контролю і керування за спожитими паливно-

© Радько І. П., Наливайко В. А., Окушко О. В.

енергетичними ресурсами, а також пошуку механізмів стимулювання заходів з підвищення енергоефективності і енергозбереження. Запропоновано можливі шляхи підвищення енергоефективності використання системи опалювання і гарячого водопостачання за допомогою системи контролю та керування на базі тепловодолічильника SA94 (SA93XX) і контролера TPM32на базі тепловодолічильника SA94 (SA93XX) і контролера TPM32.

***Ключові слова:*** паливно-енергетичні ресурси, енергозбереження, енергоефективність, система, контроль, керування, опалювання, водопостачання

**Постановка проблеми.** Сучасне життя людства немислиме без використання енергії (електричної, теплової та ін.). Широке використання енергетичних ресурсів стало ознакою модерного розвитку економіки та підвищення добробуту людини. Основна кількість енергії надходить внаслідок спалювання газу або іншого твердого палива, запаси яких стрімко зменшуються. Тому з кожним роком стає все гострішою проблема забезпечення енергоносіями. Внаслідок цього ми спостерігаємо стійке підвищення тарифів на енергоресурси та енергоносії. Саме тому сьогодні досить гострою є проблема збереження та ефективного використання енергоресурсів.

Хоча між енергозбереженням і енергоефективністю існує взаємозв’язок, все ж це різні речі. Ефективність означає отримання необхідного результату з використанням меншої кількості енергії, а збереження означає споживання меншої кількості енергії або зовсім відмова від її використання, тобто її заощадження. Ефективність часто производить до заощадження енергії, але не навпаки. Так, наприклад, третини потенціалу енергозбереження припадає на промисловість і житловий сектор. Щорічно на житлові та побутові потреби населення України витрачається близько 20 – 30 % паливно-енергетичних ресурсів в т.ч. електричної та теплової енергії. На одного жителя витрачається приблизно 1,3 тонни умовного палива на рік, що майже у 2 рази більше, ніж в розвинених країнах [1].

**Аналіз останніх досліджень.** Основний стратегічний напрямок підвищення енергоефективності та реалізації потенціалу енергозбереження полягає у структурно-технологічній перебудові економіки України, а саме, створення адміністративних, нормативно-правових і економічних механізмів, які сприятимуть підвищенню енергоефективності та енергозбереженню. Така структурно-технологічна перебудова економіки країни в цілому, та її окремих галузей, підприємств та технологічних процесів передбачає виведення з роботи морально застарілого та фізично зношеного устаткування, припинення випуску енергозатратної продукції, впровадження у виробництво новітніх технологій, обладнання, тощо. Важливим фактором підвищення енергоефективності є забезпечення інформаційно-аналітичної підтримки всіх суб’єктів економічної

діяльності у вирішенні питань оптимізації енергоспоживання та енергозбереження [2].

Важливим елементом державної політики в цьому напрямку повинен стати відхід, в першу чергу, від адміністративних до ринкових методів регулювання. Першим кроком в цьому напрямку стало прийняття Закону України «Про енергозбереження», який створив правові норми регулювання відносин між різними суб'єктами господарювання (фізичними, юридичними), в т.ч. і їх з державою у сфері енергозбереження. Зокрема затвердження Закону дало поштовх до розробки комплексних програм з енергозбереження, які створили певні механізми в напрямку енергозбереження і енергоефективності.

Так, наприклад, починаючи з 1997 року в Україні було реалізовано чимало проектів, що стосувалися питань енергоощадного використання енергетичних ресурсів в житлово-комунальній галузі: Проекти Агенції міжнародного розвитку США (USAID), кілька Проектів за підтримкою «Tacis» (адміністративні будівлі, підприємства харчової промисловості), проекти, що пов'язані із утепленням будинків ("теплі кредити"), тощо.

**Формулювання цілей статті.** Метою дослідження є пошук шляхів підвищення енергоефективності систем теплопостачання та допомоги суб'єктам господарювання у визначенні напрямків енергозбереження паливно-енергетичних ресурсів.

**Основні матеріали дослідження**. Марнотратство паливно-енергетичних ресурсів обумовлені не тільки не ефективними інженерними рішеннями, які стосуються конструктивного і технічного забезпечення будинків і споруд, а і недосконалою системою контролю і керування за використанням паливно-енергетичних ресурсів.

Успішне вирішення проблеми економії паливно-енергетичних ресурсів можливо лише шляхом вдосконалення основних технічних заходів на всіх етапах споживання енергоносіїв. Це, в першу чергу, стосується проведення повної модернізації електротехнічного обладнання, підвищенням якості його обслуговування і своєчасного ремонту, пошуку сучасних методів і режимів його експлуатації, розробці ефективних інструментів контролю і керування за спожитими паливно-енергетичними ресурсами, а також пошуку механізмів стимулювання заходів з підвищення енергоефективності і енергозбереження. Так, наприклад, за різними оцінками такі заходи дають можливість зменшити використання теплової енергії на опалення приміщення на 30 – 50 % [1, 3].

Враховуючи загострення проблеми збереження паливно-енергетичних ресурсів та їх ефективного використання, в НУБіП України, починаючи з 2010 р.р. почали розробляти відповідні технічні

рекомендації. На основі цих рекомендацій були визначені основні напрямки підвищення енергоефективності будівель і споруд, а найголовніше це розробка та впровадження, відповідними фахівцями НУБіП України, автоматизованих систем обліку і регулювання витрат теплоносія на теплових пунктах.

Проектні рішення на улаштування відповідних систем автоматичного регулювання теплоспоживання передбачали встановлення приладів регулювання теплової енергії, тепловим навантаженням якою була система опалення, що оснащена згідно діючих нормативних документів опалювальних приладів будівлі радіаторними термостатичними клапанами.

При проектуванні теплового пункту було проведено розрахунок витрат теплоносія у системі теплоспоживання об’єкту, а саме визначено розрахункові максимальні масові об’ємні витрати мережної води, розрахункові мінімальні витрати мережної води за опалювальний період, а також кількісне регулювання на джерелі теплопостачання) [1 - 4]:

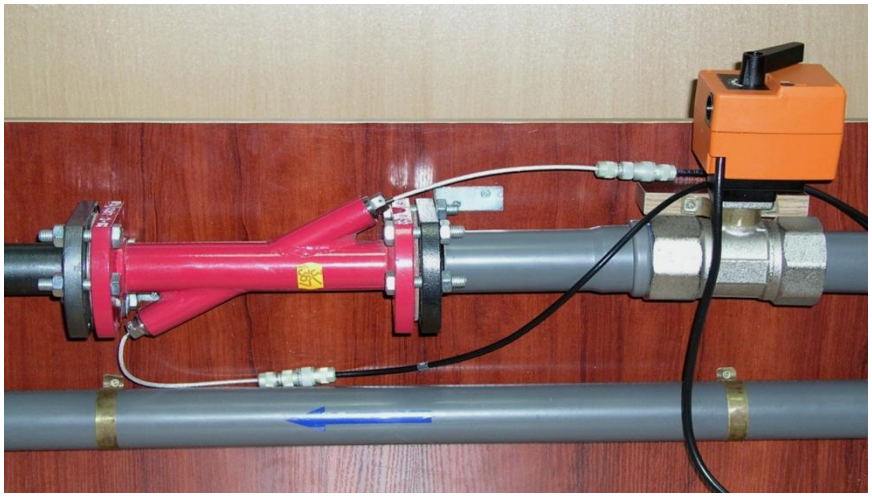


Рис. 1. Загальний вигляд фрагменту прямого та зворотного трубопроводів теплового пункту з витратомірною ділянкою тепловодолічильника СВТУ-10М і клапаном вузла регулювання витрат теплоносія (макет)

В лабораторних умовах випробовувався дослідний зразок вузла регулювання витрат теплоносія (рис. 1) приладового комплексу на базі теплолічильника SA-94(SA-93XX) і контролера ТРМ-32, конструктивно об’єднаного з ПЕОМ, передусім шляхом ретельної перевірки роботи як безпосередньо з контролером, так і з спеціалізованим програмним забезпеченням ОРМ OWEN.

Приладовий комплекс об’єднує в собі лічильник тепла SA-94 (SA-93XX), контролер ТРМ-32 і персональну ЕОМ.

Основні технічні характеристики контролера ТРМ-32 наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

**Технічні характеристики контролера ТРМ-32**

| Показник | Значення |
|---|---|
| Напруга живлення, В | 220 |
| Допустиме відхилення напруги, % | -15...+10 |
| Частота, Гц | 50 |
| Гранично допустима основна приведена похибка контролю температури, % | ±0,5 |
| Тип вхідних датчиків контролю температури | ТСМ50/100М |
| Кількість вхідних каналів температури | 4 |
| Тривалість циклу опитування датчиків, с не більше | 7 |
| Навантажувальна здатність вихідного реле | 1А, 220В |
| Інтерфейс зв'язку з ПЕОМ через адаптер мережі АС-2 | RS-232 |
| Ступінь захисту від впливу навколишнього середовища | IP20 |

З метою перевірки функціонування контролера здійснювалася імітація зміни температури зворотної води і зовнішнього повітря та встановлювалася наявність імпульсів на вхідних затискачах електроприводу NR24-SR3 регулювального клапану BELIMO.

Водночас була розроблена прикладна програма «день/ніч» для забезпечення реалізації режиму обмеження теплоспоживання у нічні години доби. Апаратно дії програми відтворював окремий модуль з вихідним герконовим реле, контакти якого приєднуються до відповідних затискачів контролера ТРМ-32.

Робочий день в навчальних корпусах триває 8 годин. Це третина доби. Саме в цей час потрібно підтримувати комфортні умови – темпертуру більше 18 $^{o}$С. В неробочий час теплові потужності можуть бути знижені до мінімуму, який буде виключати виникнення аварій в теплових мережах від переохолодження при мінусових зовнішніх температурах. Звичайно, що мінімальна теплова потужність в неробочий час повинна бути науково обґрунтованою, як з технічної точки зору, так і з економічної. Тому при формуванні алгоритму керування тепловим потоком потрібно приймати певне компромісне рішення з урахуванням всіх відомих факторів. Це основний важіль зменшення витрат на теплоносії. Звичайно, що зробити це не зовсім просто, оскільки приміщення характеризуться тепловою інерцією. Нами проводились дослідження з виірювання теплових характеристик навчальних корпусів. Визначені постійні величини часу, які

коливаються від 10 до 75 годин. На основі експериментальних даних та з урахуванням теплових характеристик огороджувальних конструкцій будівель проведено імітаційне моделювання теплових втрат навчальних корпусів. Отримані дані дозволили одержати достатньо близькі до оптимальних режими теплопостачання навчального корпусу (рис. 2).

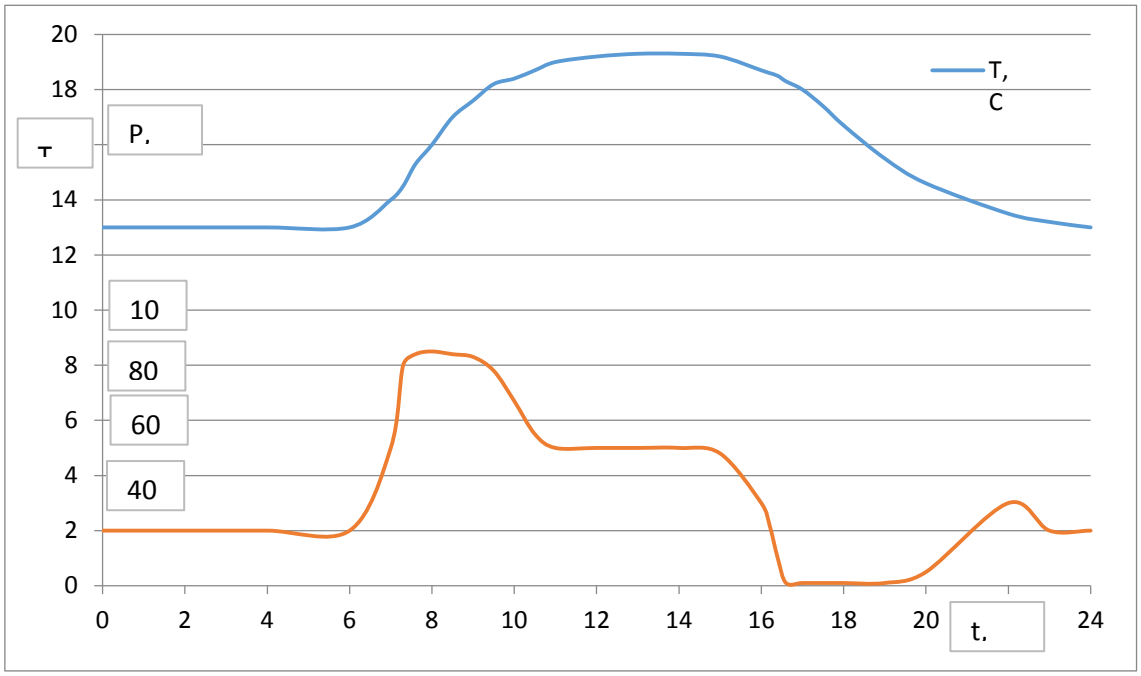



Рис. 2. Залежність температури та потужності теплового пункту навчального корпусу №8 від часу доби

За допомогою пристрою діагностування УД-01 перевірена справність тепловодолічильника СВТУ-10М з метою: визначення несправного елемента в колі „обчислювач – з'єднувальні кабелі – ультразвукові датчики витрат"; контролю роботоздатності обчислювача тепловодолічильника; контролю справності каналів вимірювання температури і тиску тепловодолічильника.

Слід констатувати, що запропонована технологія регулювання витрат теплоносія в системах водяного опалення з використанням контролера ТРМ-32 реалізована фірмою „ЭСТА" у виконаних на замовлення НУБіП України проектах вузлів обліку теплової енергії для теплових пунктів ряду будівель.

Сьогодні всі навчальні корпуси та студентські гуртожитки НУБіП України обладнані вузлами обліку теплоносіїв, а в 8-ми навчальних корпусах встановлено обладнання яке автоматично регулює подачу теплоносія в залежності від зовнішньої температури, періоду доби(день чи ніч) та вихідних чи святкових днів (рис. 2). Всі бойлерні, а вся гаряча вода, яку споживають студентські гуртожитки

постачаэться через них, обладнані також вузлами обліку споживання і регулювання теплоносіїв.

**Висновок.**

1. Система обліку та регулювання витрат теплоносія водопостачання навчального корпусу, реалізована в індивідуальному тепловому пункті, має забезпечувати регулювання витрат теплоносія залежно від температури навколишнього середовища та обмежувати теплоспоживання в нічні години доби і вихідні (святкові) дні.
2. Встановлення засобів обліку та регулювання витрат теплової енергії забезпечує можливість здійснювати оперативний моніторинг теплових потоків, що сприяє скороченню обсягів споживання теплової енергії в середньому на 30 – 40 %.

**Список використаних джерел**

1. Розробка проекту теплового пункту навчального корпусу НУБІП України / І. П. Радько та ін. *Енергетика та автоматика*. 2018. № 1. С. 86-94. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2018_3_9.
2. Підвищення заходів з енергоефективності та енергозбереження у вищих навчальних закладах / І. П. Радько та ін. *Науковий вісник НУБіП України*. 2018. № 283. С. 275-280.
3. *Міщенко А. В., Шеліманова О. В., Антипов Є. О.* Аналіз теплового комфорту у приміщеннях навчального корпусу № 8 НУБіП України після термомодернізації будівлі. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2014. Вип. 194, ч. 1. С. 119-123.
4. Методика та обладнання для проведення енергетичного аудиту / І. П. Радько та ін. *Енергетика та автоматика*. 2018. № 1. С. 123-134. URL: http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Energiya/article/viewFile/10596/9329
5. *Любарець О. П., Зайцев О. М., Любарець В. О.* Проектування систем водяного опалення. Київ, 2010. 200 с.

# ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ

**Радько И. П., Наливайко В. А., Окушко А. В.**

***Аннотация*** - современная жизнь человечества немыслимо без использования энергии (электрической, тепловой и др.). Широкое использование энергетических ресурсов стало признаком современного развития экономики и повышения благосостояния человека. Основное количество энергии поступает в результате сжигания газа или другого твердого топлива, запасы которых стремительно уменьшаются. Поэтому с каждым годом становится все более острой проблема обеспечения энергоносителями. В результате мы наблюдаем устойчивое повышение тарифов на энергоресурсы и энергоносители. Именно поэтому сегодня достаточно остро стоит проблема сохранения и эффективного использования энергоресурсов. Ежегодно на жилые и бытовые потребности населения Украины тратится около 20 - 30% топливно-энергетических ресурсов в т.ч. электрической и тепловой энергии, то есть на одного жителя тратится примерно 1,3 тонны условного топлива в год, что почти в 2 раза больше, чем в развитых странах. Основное стратегическое направление повышения энергоэффективности и реализации потенциала энергосбережения заключается в структурно-технологической перестройке экономики Украины, а именно, создании административных, нормативно-правовых и экономических механизмов, которые будут способствовать повышению энергоэффективности и энергосбережению. Такая структурно-технологическая перестройка экономики страны в целом, и ее отдельных отраслей, предприятий и технологических процессов предусматривает вывод из работы морально устаревшего и физически изношенного оборудования, прекращение выпуска энергозатратной продукции, внедрение в производство новейших технологий, оборудования и тому подобное. Важным фактором повышения энергоэффективности является обеспечение информационно-аналитической поддержки всех субъектов экономической деятельности в решении вопросов оптимизации энергопотребления и энергосбережения. Расточительство в расходовании энергетических ресурсов обусловлены не только неэффективными инженерными решениями, которые касаются конструктивного и технического обеспечения зданий и сооружений, а и несовершенной системой контроля и управления с использованием топливно-энергетических ресурсов. В данной работе проанализировано современное состояние использования топливно-энергетических ресурсов в результате их эффективности использования. Обоснована целесообразность совершенствования основных технических мероприятий на всех этапах потребления энергоносителей, а именно проведение полной модернизации всего электротехнического оборудования, повышением качества его обслуживания и своевременного ремонта, поиска современных методов и режимов его эксплуатации, разработки эффективных инструментов контроля и управления за потребленными топливно-энергетическими ресурсами, а также поиска механизмов стимулирования мероприятий по повышению энергоэффективности и энергосбережения. Предложены возможные пути повышения энергоэффективности использования системы отопления и горячего водоснабжения с помощью системы контроля и управления на базе тепловодосчетчика SA94 (SA93XX) и контроллера TPM32.

***Ключевые слова:*** топливно-энергетические ресурсы, энергосбережение, энергоэффективность, система, контроль, управление, отопления, водоснабжения

# IMPROVE THE ENERGY EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY SYSTEMS IN EDUCATIONAL INSTITUTIONS

**I. Radko, V. Nalyvaiko, O. Okushko**

***Summary***

Modern life of mankind is unthinkable without the use of energy (electric, thermal, etc.). Widespread use of energy resources has become a sign of modern economic development and human well-being. The main amount of energy comes from combustion of gas or other solid fuels, whose stocks are rapidly decreasing. Therefore, with each passing year, the problem of energy supplies is becoming increasingly acute. As a result, we are seeing a steady increase in energy and energy tariffs. That is why today the problem of conservation and efficient use of energy resources is quite acute. Annually, about 20-30% of fuel and energy resources are spent on residential and domestic needs of the population of Ukraine, including electric and thermal energy, that is, one person consumes approximately 1.3 tons of conventional fuel per year, which is almost 2 times more than in developed countries. The main strategic direction for increasing energy efficiency and implementing the energy saving potential is structural and technological restructuring of the Ukrainian economy, namely, the creation of administrative, regulatory and economic mechanisms that will promote energy efficiency and energy conservation. Such structural and technological reorganization of the economy of the country as a whole, and its individual industries, enterprises and technological processes involves the withdrawal of outdated and physically worn out equipment, the cessation of production of energy-consuming products, the introduction of the production of advanced technologies, equipment, etc. An important factor in increasing energy efficiency is the provision of information and analytical support for all economic entities in solving energy efficiency and energy efficiency issues. Excessive waste in fuel and energy resources is due not only to ineffective engineering decisions that relate to the design and technical support of buildings and structures, but also to an imperfect system of control and management of the use of fuel and energy resources. In this paper, the current state of the use of fuel and energy resources due to their efficiency is analyzed. The expediency of improving the main technical measures at all stages of energy consumption, namely, the complete modernization of all electrical equipment, improvement of the quality of its maintenance and timely repair, the search for modern methods and modes of its operation, development of effective tools for control and management of consumed fuel and energy resources, as well as finding mechanisms for stimulating energy efficiency and energy efficiency measures. Possible ways of increasing the energy efficiency of using the heating and hot water supply system with the help of a control and control system based on the heat sink SA94 (SA93XX) and the TPM32 controller are proposed.

**Keywords:** fuel and energy resources, energy saving, energy efficiency, system, control, control, heating, water supply

**УДК 621.313.32+621.313.8 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-43**

# ПОРІВНЯННЯ СИНХРОННИХ МАШИН ГІБРИДНОГО ЗБУДЖЕННЯ З МАШИНАМИ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНОГО ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗБУДЖЕННЯ

**Чумак В. В., к. т. н., http://orcid.org/0000-0001-8401-7931**
**Монахов Є. А., інженер, http://orcid.org/0000-0001-8408-8051**
**Стулішенко А. С., інженер http://orcid.org/0000-0001-9982-9246**
*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
e-mail: *chumack_kpi@ukr.net*

***Анотація*** **–** синхронні машини з магнітоелектричним та електромагнітним збудженням отримали широке застосування в якості двигунів та генераторів в різноманітних сферах експлуатації в залежності від поставлених задач. Машинам з електромагнітним збудженням притаманні широкі регулювальні властивості, в той час як машини зі збудженням від постійних магнітів мають високі питомі показники та надійність, однак у них відсутня можливість регулювання основного магнітного потоку. Аналіз існуючих методів регулювання магнітного потоку, які розглянуті у вітчизняних наукових джерелах показав неефективність даних методів. Аналіз зарубіжних наукових джерел показав широкий інтерес до машин з гібридним збудженням, які є проміжною ланкою між класом машин з магнітоелектричним та електромагнітним збудженням. По суті, машини з гібридним збудженням об'єднують два типи збудження: збудження від постійних магнітів та обмотки збудження.

В даній статті представлено порівняння машин різного типу збудження, а саме: проведено аналіз існуючих серійних машин діапазону потужностей з електромагнітним, магнітоелектричним та гібридним збудженням по критеріям питомої потужності та коефіцієнту корисної дії. Розрахунок машин з гібридним збудженням проведено на основі відомих методик розрахунку машин зі збудженням від постійних магнітів та залученням чисельних методів розв'язання електромагнітних рівнянь поля. Завдяки польовому аналізу було розраховано низку машин з гібридним збудженням потужністю до 75 кВт та проведено їх порівняння з відомими серійними машинами. Встановлено доцільне використання машин з гібридним збудженням при забезпеченні регулювання магнітного потоку в межах до 40% в порівнянні з машинами інших типів збудження.

**Ключові слова:** синхронні машини, електромагнітне збудження, магнітоелектричне збудження, гібридне збудження, питома потужність, ККД.

**Постановка проблеми.** Синхронні машини виконуються як з електромагнітним, так і з магнітоелектричним збудженням. Останні мають вищий коефіцієнт корисної дії, надійність та масогабаритні показники. Однак, основним недоліком машин з магнітоелектричним є неможливість регулювання основного магнітного потоку в

© Чумак В. В., Монахов Є. А., Стулішенко А. С.

повітряному проміжку. Існує ряд методів та способів, які забезпечують регулювання магнітного потоку, такі як підмагнічування, шунтування і т.д. Так, відомо що в машинах з магнітним шунтуванням [1, 2, 3] об'єм постійних магнітів розраховується на випадок максимально допустимого перевантаження, при цьому при номінальному режимі роботи машина використовується недоцільно, що збільшує масогабаритні показники, за рахунок збільшення маси матеріалів активних частин та встановлення додаткового магнітопроводу. В основі відомого методу підмагнічування спинки якоря [1, 3] лежить зміна магнітного опору ділянки по якій проходить основний магнітний потік. Перевагою методу є простота, але при цьому підвищується габарит, збільшується витрати активних матеріалів (збільшується висота спинки якоря та використовується додаткова обмотка). Даний метод має обмежений діапазон регулювання порядку до 30% [3].

Проміжною ланкою між машинами з магнітоелектричним та електромагнітним збудженням є машини з гібридним збудженням, які мають в певному діапазоні регулюванні переваги обох класів машин.

**Аналіз останніх досліджень.**Аналіз вітчизняних наукових джерел показав відсутність відповідних досліджень, в той час як аналіз зарубіжних наукових праць вказує на широкий інтерес в останні десятиріччя до машин з гібридним збудженням [4-7]. В роботах [4, 5, 7, 8] машини з гібридним збудженням розглядаються в якості синхронних двигунів, що дозволяє розширити зону регулювання частоти обертання та оптимізувати режими роботи. Автори робіт [7] проводять оцінку глибини регулювання вихідної напруги машин з гібридним збудженням у режимах синхронного генератора. Однак, в роботах [9, 10] не приводиться аналіз ефективності та питомих показників даних машин в порівнянні з машинами з електромагнітним та магнітоелектричним збудженням.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є порівняння основних показників машин різного типу збудження, а саме питомої потужності та ККД.

**Основна частина.** Оскільки машини з гібридним збудженням є несерійними машинами та їх дослідження почалось декілька десятирічь тому, на даний момент часу не існує єдиної методики розрахунку таких машин, як по суті і машин з магнітоелектричним збудженням. При розрахунках машин зі збудженням від постійних магнітів допускається похибка до 10%, оскільки характеристики постійних магнітів залежать від багатьох факторів. Тому розрахунок машин з гібридним збудженням проводився на основі відомих[11-13] та авторських методик розрахунку з залученнямпольового аналізу.

Порівняння проводилось між серійними генераторами типу ЕСС5, магнітоелектричним генераторами серії БГ та розрахованими синхронними генераторами з гібридним збудженням. Питомі показники машин з магнітоелектричним та електромагнітним збудженням приведені в таблиці 1.

Таблиця 1

**Основні показники машин з електромагнітним (ЕЕС5) та магнітоелектричним (БГ) збудженням**

| | Р, кВт | Маса, кг | Рпит, Вт/кг | n, об/хв | ККД,% |
|---|---|---|---|---|---|
| ЕСС5-61-4У2 | 8 | 160 | 50 | 1500 | 84,7 |
| ЕСС5-62-4У2 | 12 | 189 | 63,49 | 1500 | 85 |
| ЕСС5-81-4У2 | 20 | 300 | 66,66 | 1000 | 86 |
| ЕСС5-82-4У2 | 30 | 340 | 88,23 | 1500 | 88,2 |
| ЕСС5-91-4У2 | 50 | 490 | 102,04 | 1500 | 89,3 |
| ЕСС5-92-4У2 | 60 | 495 | 121,21 | 1000 | 89,6 |
| ЕСС5-93-4У2 | 75 | 544 | 137,86 | 1500 | 90,5 |
| БГ-10М-4 | 10 | 179 | 55,86 | 1500 | 83 |
| БГ-16М-4 | 16 | 185 | 86,48 | 1500 | 85 |
| БГ-30М-4 | 30 | 250 | 120 | 1500 | 88,5 |
| БГ-75М-4 | 75 | 465 | 161,29 | 1500 | 90,5 |

Побудована математична польова модель є тривимірною, оскільки двовимірна модель не дозволяє враховувати аксіальний магнітний потік, крайові ефекти та ін. Детально конструкція та принцип дії машини з гібридним збудженням описана в роботі [14-15]. В загальному випадку в машині суміщено магнітоелектричне та електромагнітне збудження. Обмотка збудження виконується концентричною та розміщується співвісно зі статором і ротором. Для проведення потоку збудження необхідне магнітне коло, яке утворюється за допомогою магнітом`яких осердь, які чергуються по колу з постійними магнітами однієї полярності відносно феромагнітного диску ротора. Таким чином, постійні магніти створюють магнітний потік однієї полярності, а обмотка збудження – протилежної полярності.

Тривимірний ескіз досліджуваного синхронного генератора з гібридним збудженням зображено на рисунку 1, на якому позначено: 1 – статор, 2 –обмотка статора, 3 – постійні магніти, 4 – осердя, 5 – індуктор ротора, 6 – маточина, 7 – обмотка збудження.

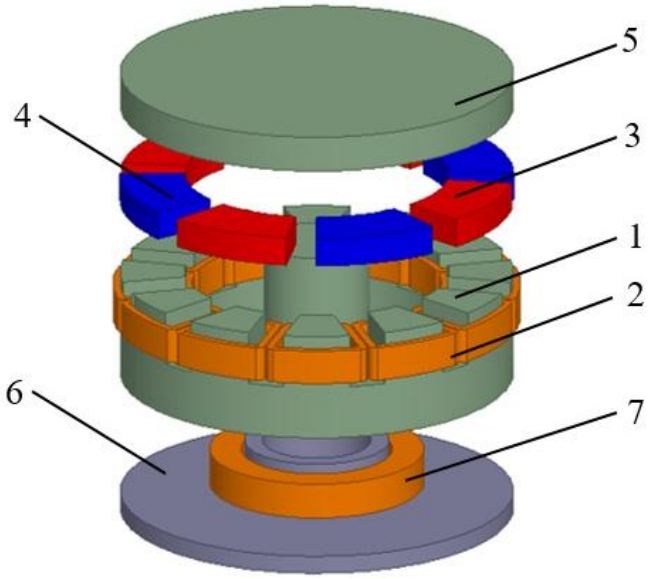



Рис. 1. Тривимірний ескіз досліджуваного генератора

Система рівнянь тривимірного електромагнітного поля, відносно комплексної амплітуди векторного магнітного потенціалу $\dot{\overline{A}} = \overline{e_x} \cdot \dot{A}_x + \overline{e_y} \cdot \dot{A}_y + \overline{e_z} \cdot \dot{A}_z$ і скалярного електричного потенціалу $\varphi$записується в наступному вигляді:

$$\Delta\times\left(\frac{1}{\mu}\Delta\times\dot{\overline{A}}\right)+j\varpi\sigma\dot{\overline{A}}+\sigma\,\Delta\,\varphi=\dot{\overline{J_c}},\ \Delta\cdot\left(j\varpi\sigma\dot{\overline{A}}+\sigma\,\Delta\,\varphi-\dot{\overline{J_c}}\right)=0 \quad (1)$$

де $\mu$, $\sigma$– магнітна проникність і електропровідність, ω – кутова частота, $\dot{\overline{J_c}} = \overline{e_x} \cdot \dot{J_{cx}} + \overline{e_y} \cdot \dot{J_{cy}} + \overline{e_z} \cdot \dot{J_{cz}}$– вектор густини сторонніх струмів, який задається в обмотці збудження і має три просторові складові. Складові вектору магнітної індукції визначаються через вектор магнітного потенціалу

$$B_x = \frac{\partial A_z}{\partial y} - \frac{\partial A_y}{\partial z}, B_y = \frac{\partial A_x}{\partial z} - \frac{\partial A_z}{\partial x}, B_z = \frac{\partial A_y}{\partial x} - \frac{\partial A_x}{\partial y} \quad (2)$$

Тоді, модуль вектор магнітної індукції розраховується за виразом

$$B = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (3)$$

На рисунку 2 зображена залежність питомої потужності (Вт/кг) для машин різної потужності та типу збудження.

Аналізуючи залежність приведену на рис. 2 видно, що застосування машин з гібридним збудженням доцільно лише до деякої межі, а саме по попереднім розрахункам – до 45 кВт. Даний клас машин забезпечує регулювання магнітного потоку в межах до 40%.

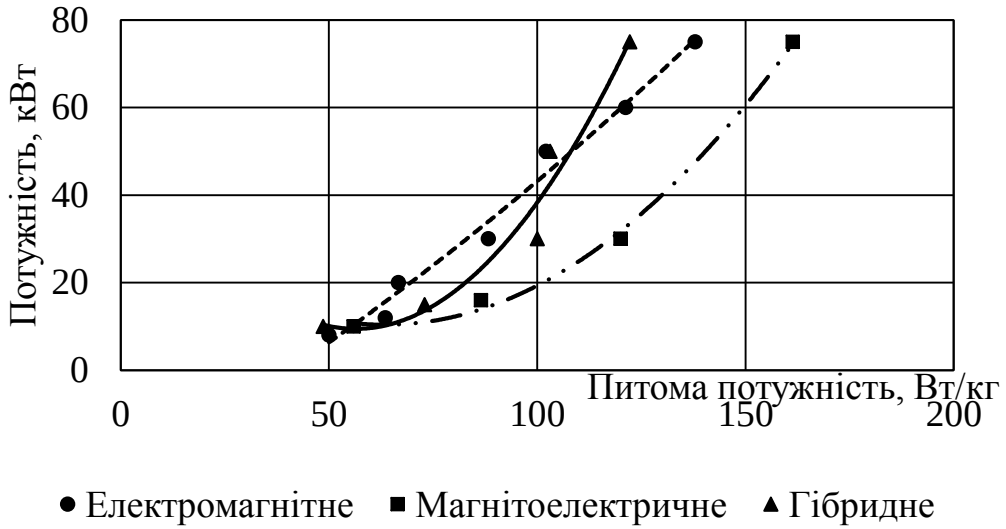



Рис. 2. Залежність питомої потужності від потужності машини в залежності від типу збудження

Для оцінки ефективності машини було розраховано значення ККД машини з гібридним збудженням. При цьому слід зазначити, що коефіцієнт корисної дії залежить від режиму роботи, навантаження, величини струму збудження. В загальному випадку ККД визначається за наступною формулою

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + \sum p} \quad (4)$$

де $\sum p$- сумарні втрати

$P_2$ - корисна потужність генератора.

Сумарні втрати визначаються як

$$\sum p = p_{\text{оя}} + p_{\text{оз}} + p_{\text{магн}} + p_{\text{мех}} + p_{\text{дод}} \quad (5)$$

Електричні втрати в обмотках якоря та збудження визначаються за класичними формулами

$$p_{\text{оя}} = 3 \cdot I_a^2 \cdot r_a \quad (6)$$

$$p_{\text{оз}} = I_f^2 \cdot r_f \quad (7)$$

де $I_a$та $I_f$ - струм обмотки якоря та збудження відповідно

$r_a$та $r_f$- опори обмотки якоря та збудження відповідно

Механічні втрати залежать від діаметру та частоти обертання ротора. Оскільки прийнято, що частота обертання ротора не залежить від навантаження, то механічні втрати залишаються постійними і розраховуються за формулою

$$p_{\text{мех}} = 6 \cdot \left({}^{n}/_{1000}\right)^2 \cdot (0.01 \cdot D_{\text{зовн}})^3 \quad (8)$$

Додаткові втрати приймаються рівними 5% від вихідної потужності генератора при нульовому значенні МРС ОЗ

$$p_{\text{дод}} = 0{,}05 \cdot P_2 \quad (9)$$

В загальному випадку втрати в магнітоелектричних машинах можливо розраховувати за формулою

$$p_{\text{магн}} = k_{\text{д}} \cdot p_{\text{пит}} \cdot B_i^2 \cdot m_i \quad (10)$$

де $k_{\text{д}}$- коефіцієнт, який враховує збільшення втрат;
$p_{\text{пит}}$- питомі втрати для обраної сталі;
$B_i$- індукція в і-му елементі;
$m_i$- маса і-го елементу.

Розрахунок магнітних втрат проведено з врахуванням отриманих значень індукції в результаті аналізу польової моделі. Залежність ККД від потужності машини представлено на рис. 3.

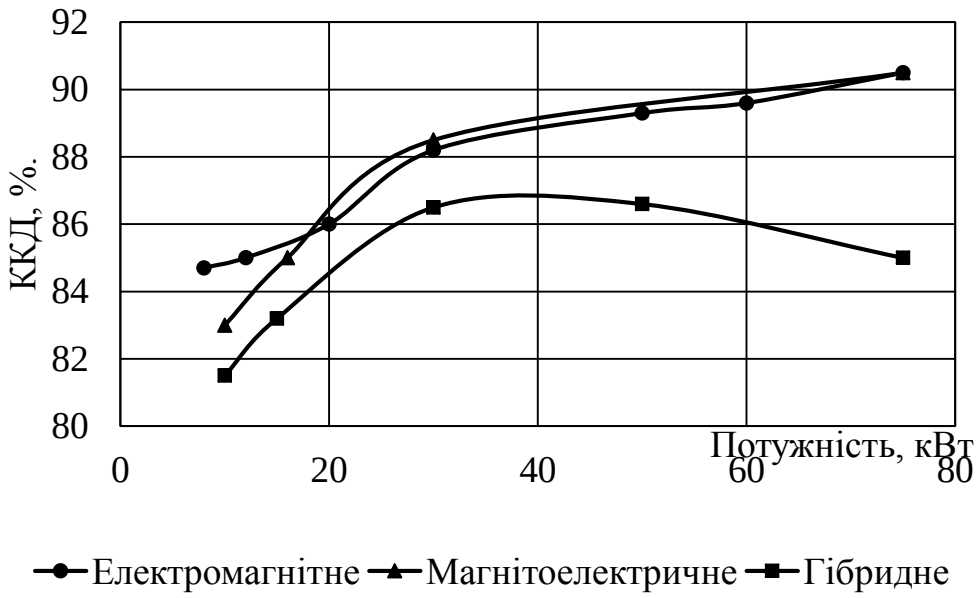



Рис. 3. Залежність ККД від потужності машини при різних типах збудження

З графіку залежності ККД від потужності машини видно, що граничне значення потужності машини з максимальним ККД становить до 40 кВт. При подальшому збільшенні потужності ККД машини з гібридним збудженням зменшується через збільшення магнітних та електричних втрат, оскільки зі збільшенням потужності зростає довжина активної зони, магнітом'яких осердь та МРС обмотки збудження.

**Висновки.**

В роботі показано порівняння синхронних машин з різними типами збудження та різною магнітною системою. Показано до якого

значення потужності машина з гібридним збудженням є ефективною і доцільною до використання в порівнянні з машиною з магнітоелектричним чи електромагнітним збудженням.

**Список використаних джерел**

1. *Балагуров В. А., Галтеев Ф. Ф.* Электрические генераторы с постоянными магнитами. Москва: Энергоатомиздат, 1988. 279 с.

2. *Бертинов А. И.* Авиационные электрические генераторы. Москва: Государственное издательство оборонной промышленности, 1959. 594 с.

3. *Бут Д. А.* Бесконтактные электрические машины. Москва: Высшая школа, 1990. 416 с.

4. *Brown N. L., Haydock L.* New Brushless Synchronous Alternator. *IEEE Proceedings on Electric Power Applications*. 2003. Vol. 150. P. 629-635.

5. *Delhasse F., Biais F.* High power starter generators for airliners. Changesin Aeronautical and space systems. *Challenges for on-board energy*. (June 26-28, 2006, Avignon, France). P. 1-3.

6. Design and test of an axial flux permanent-magnet machine with field control capability / *A. D. Gonzalez-Lopez* [et al.]. *IEEE Transactions on magnetics*. 2008. Vol. 44. № 9. P. 2168-2173. DOI: 10.1109/TMAG.2008.2000543.

7. Hybrid excitation synchronous generators for island operation / *K. Kamiev* [et al.]. *IET Power application*. 2012. Vol. 6. № 1. P. 1 – 11. DOI:10.1049/iet-epa.2010.0226.

8. *Mohd M. S., Aziz A. R., Mohd M. S.* Investigation of mechanical field weakening of axial flux permanent magnet motor. *3rd International conference of Mechanical engineering research (ICMER 2015).* (Kuantan, Malaysia, 18-19 August 2015). IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2015. Vol. 100, № 1. P. 1 – 9. DOI:10.1088/1757-899X/100/1/012026.

9. *Hoang E., Lécrivain M., Gabsi M.* A new structure of a switching flux synchronous spolyphase machine with hybrid excitation. *European Conference on Power Electronics and Applications EPE 2007*, 2007. p. 1–8.

10. Basic principles of hybrid excitation synchronous machine / T. Mizuno [et al.]. *Electrical engineering in Japan.* 1996. Vol. 117. №. 5. P. 110 - 123

11. *Кудря С. А., Перминов Ю. Н., Буденный В. Ф.* О методах расчета магнитных систем с постоянными магнитами. *Відновлювана енергетика.* 2009. № 4. С. 40-43.

12. *Кудря С. А., Перминов Ю. Н., Буденный В. Ф.* Особенности проектирования синхронного ветрогенератора с возбуждением от постоянных магнитов. *Відновлювана енергетика*. 2010. № 1. С. 51-53.

14. *Чумак В. В., Монахов Е. А.* Управление магнитоэлектрическим генератором с аксиальным потоком. *Технічна електродинаміка*. 2016. № 2. С. 55–57.

15. *Ostroverkhov M., Chumack V., Monakhov E.* Axial Flux Permanent Magnet Controlled Generator. *2018 IEEE 3rd Conference Proceedings on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS):* матеріали міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 10-14 вересня 2018 р.). Харків, 2018. С. 353-357.

## СРАВНЕНИЕ СИНХРОННЫХ МАШИН ГИБРИДНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ С МАШИНАМИ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ

**Чумак В. В., Монахов Е. А., Стулишенко А. С.**

***Аннотация*** – синхронные машины с магнитоэлектрическим и электромагнитным возбуждением получили широкое применение в качестве двигателей и генераторов в различных сферах эксплуатации в зависимости от поставленных задач. Машинам с электромагнитным возбуждением свойственны широкие регулировочные свойства в то время, как машины с возбуждением от постоянных магнитов имеют высокие удельные показатели и надежность, однако у них отсутствует возможность регулировать основной магнитный поток. Анализ существующих методов регулирования магнитного потока, которые рассмотрены в отечественных научных источниках показал неэффективность данных методов. Анализ иностранных научных источников показал широкий интерес к машинам с гибридным возбуждением, которые являются промежуточным звеном между классом машин магнитоэлектрическим и электромагнитным возбуждением. По существу, машины с гибридным возбуждением объединяют два типа возбуждения одновременно: возбуждение от постоянных магнитов и обмотки возбуждения.

В данной статье представлено сравнение машин разного типа возбуждения, а именно: проведено анализ существующих серийных машин диапазона мощностей с электромагнитным, магнитоэлектрическим и гибридным возбуждением по критериям удельной мощности и коэффициента полезного действия. Расчет машин с гибридным возбуждением был проведен на основе существующих известных методик расчета машин з возбуждением от постоянных магнитов и численных методов решения электромагнитных уравнений поля. Благодаря полевому анализу было рассчитано ряд машин с гибридным возбуждением мощность до 75 кВт и проведено их сравнение с известными серийными машинами. Установлено целесообразное использование машин с гибридным возбуждением при обеспечении регулирования магнитного потока в пределах до 40% в сравнении с машинами других типов возбуждения.

***Ключевые слова:*** синхронные машины, электромагнитное возбуждение, магнитоэлектрическое возбуждение, гибридное возбуждение, удельная мощность, КПД.

# COMPARISON OF SYNCHRONOUS HYBRID EXCITED MACHINES WITH MACHINES OF PERMANENT MAGNET AND ELECTROMAGNETIC EXCITATION

**V. Chumak, E. Monakhov, A. Stulishenko**

***Summary***

Synchronous machines with permanent magnet and electromagnetic excitation are widely used as motors and generators in various fields of operation, depending on the tasks.Machines with electromagnetic excitation are characterized by wide adjustment properties, while machines with permanent magnetexcitation have high power-to-weight ratio, efficiency, reliability, but there is no possibility to regulate the main magnetic flux in airgap. Analysis of existing methods of control the magnetic flux, which are reviewed in national scientific sources, showed the ineffectiveness of these methods.The analysis of foreign scientific papers showed a wide interest to the machines with hybrid excitation, which are an intermediate link between the class of permanent magnet machines and machines with field excitation winding. In essence, hybrid excitation machines combine two types of excitation at the same time: excitation from permanent magnets and excitation windings.

This article presents a comparison of machines of different types of excitation, namely: an analysis of the existing serial machines of the different power range with electromagnetic, permanent magnet and hybrid excitation according to the criteria of power-to weight ratio and efficiency is carried out.The calculation of machines with hybrid excitation was carried out on the basis of well-known methods for calculating machines with permanent magnetexcitation and numerical methods for solving electromagnetic field equations. Thanks to the field analysis, a number of machines with hybrid excitation power up to 75 kW was calculated and compared with known serial machines. It has been found the expedient usage of machines with hybrid excitation while ensuring regulation of the magnetic flux up to 40% in comparison with machines of other types of excitation.

***Keywords:*** synchronous machines, electromagnetic excitation, permanent magnet excitation, hybrid excitation, power density, power-to-weight ratio, efficiency.

**УДК 502/504** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-44**

# ПОТЕНЦІОМЕТРІЯ, КОНДУКТОМЕТРІЯ І РЕФРАКТОМЕТРІЯ ЯК МЕТОДИ ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ҐРУНТІВ І ПОВЕРХНЕВИХ ВОД У ЗОНАХ ВІДПОЧИНКУ ЛЮДЕЙ

**Борисов О. О., інженер** **https://orcid.org/0000-0002-1053-2989**
**Кофанова О. В., д. пед. н., к. хім. н.**
**https://orcid.org/0000-0002-9851-6392**
*Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського"*
e-mail: alexina555@gmail.com

***Анотація*** – на прикладі зон відпочинку людей у місті Києві, що розташовані поблизу напружених автодоріг, проаналізовано закономірності зміни їх екологічного стану. Запропоновано й обґрунтовано для експрес-контролю екологічного навантаження з боку автотранспортних потоків застосовувати методи потенціометрії, кондуктометрії, а також оптичні методи дослідження (наприклад, рефрактометрію). Досліджено фізико-хімічні характеристики поверхневих вод і ґрунтових витяжок на міських територіях рекреаційного призначення, вивчено їх динаміку. Проведено ранжування досліджуваних рекреаційних територій за допомогою запропонованого інтегрального індексу техногенного навантаження, враховано діяльність людей на цих територіях. Окреслено пріоритетні напрямки зниження ризику порушення здоров'я людей через шкідливий вплив викидів автотранспортних засобів на територіях, призначених для відпочинку й оздоровлення.

***Ключові слова:*** автотранспортні засоби, відпрацьовані гази, екологічний ризик, забруднення довкілля, водні об'єкти, ґрунтовий покрив, ґрунт.

**Вступ**. До сучасних проблем людства належать багато екологічних проблем, серед яких, зокрема, збереження і сталий розвиток усіх компонентів навколишнього природного середовища. Однак складна екологічна ситуація, що найчастіше спостерігається у великих містах і на урбанізованих територіях, призводить до порушень і деградації природних екосистем і, як наслідок, до підвищення ризику захворювань населення. У зв'язку з цим у 2018 р. Верховною Радою України прийнято законопроект "Основні засади (стратегія) державної екологічної політики України на період до 2030 року" [1], який має на меті створити умови для поліпшення стану навколишнього природного середовища для життя й здоров'я людей, а також з метою впровадження збалансованої системи природокористування.

© Борисов О. О., Кофанова О. В.

*Постановка проблеми.* Автотранспорт відіграє надзвичайно важливу роль у соціально-економічному розвитку будь-якої розвинутої країни. Але інтенсивний розвиток транспортної галузі безпосередньо пов’язаний зі зростанням обсягів споживання енергетичних ресурсів (переважно нафтового походження) і викидами з відпрацьованими газами шкідливих речовин (ШР) у довкілля, що призводить до зростання антропогенного тиску на навколишнє природне середовище.

Шкідливі речовини – інгредієнти відпрацьованих газів автотранспортних засобів (АТЗ) мають різні механізми й умови утворення під час роботи двигуна. Зокрема, Карбон(II) оксид, сажа, альдегіди, незгорілі вуглеводні тощо є продуктами неповного окиснення палива і утворюються, в основному, у процесах, що відбуваються у передпламенний період і під час згоряння палива.

Інша група полютантів, зокрема оксиди Нітрогену, утворюються в камері згоряння двигуна в зонах з високою температурою внаслідок хімічної взаємодії азоту повітря і надлишкового кисню. Тому такі оксиди Нітрогену мають назву термічні, і на їх утворення та концентрацію не впливають ані якість пального, ані його хімічний склад. При окисненні моторного палива в камері згоряння двигуна утворюються також різноманітні поліциклічні ароматичні сполуки, серед яких найбільш характерним канцерогеном і мутагеном є бенз(а)пірен. Отже, питання підвищення рівня екологічної безпеки міських територій, забезпечення їх сталого розвитку завдяки мінімізації шкідливого впливу з боку автотранспорту перебувають у центрі уваги науковців і вимагають невідкладних рішень.

**Аналіз останніх досліджень.** З метою здійснення комплексної оцінки екологічного стану міських територій, розташованих поблизу автотранспортних магістралей, проведено аналіз літературних джерел та виявлено певні труднощі, пов’язані, по-перше, з вибором показників-індикаторів техногенного навантаження на досліджувані території, а, по-друге, з вибором методів аналізу систем, які б надавали можливість отримувати прецизійні дані щодо динаміки забруднень ґрунтів, поверхневих вод, атмосферного повітря тощо.

Для забезпечення екологічної безпеки населення міста необхідно також враховувати, що викиди ШР з відпрацьованими газами АТЗ відбуваються майже на рівні поверхні землі (~ 0,2–0,5 м), тому й зона максимального шкідливого впливу полютантів розташована на висоті ~ 2−3 м, що є співрозмірною з ростом дорослої людини. А максимального шкідливого екотоксикологічного впливу забруднюючих речовин слід очікувати на дітей, які знаходяться тривалий час на території, прилеглій до автодороги.

За даними Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського, водні об’єкти і ґрунти України, в основному, забруднені сполуками Нітрогену, Фосфору, важких металів (ВМ), а також нафтопродуктами, фенолами, сульфатами, поверхнево-активними речовинами тощо [2]. Зокрема, авторами роботи [3] встановлено кореляційну залежність між вмістом нітратів у дощовій воді і вмістом в атмосферному повітрі міст Нітроген(IV) оксиду, який є одним з основних інгредієнтів відпрацьованих газів АТЗ. Саме викиди цього шкідливого газу (разом із викидами дрібнодисперсних частинок сажі) є основною екологічною загрозою з боку функціонуючих дизельних двигунів.

Автотранспортний комплекс (потоки працюючих АТЗ) викидає в атмосферне повітря як газоподібні, так і тверді ШР, не враховуючи розливи моторних палив, масел та інших рідких нафтопродуктів. Внаслідок цього в атмосфері міст утворюються стійкі аерозольні системи виду "тверді дрібнодисперсні частинки – газ", і при цьому відбуваються такі процеси:

– розсіювання шкідливих домішок унаслідок їх турбулентного перемішування із повітряними масами;

– механічне перенесення забруднювачів, вторинне забруднення, "сухе випадання" на придорожні території;

– хімічні й фізико-хімічні перетворення (у тому числі й хемосорбція, інші сорбційні процеси, а також гідроліз і хімічна взаємодія) речовин, що призводять до суттєвої трансформації первинних токсикантів;

– вимивання ШР з атмосфери з "вологим випаданням" забруднювачів на придорожні території.

Отже, пріоритетною умовою сталого розвитку суспільства й біосфери є необхідність зменшення негативного впливу автотранспортного комплексу на міські території та оточуюче людей середовище. Тому якісне оцінювання екологічного стану компонентів довкілля та ефективний контроль, особливо для техногенно навантажених міських територій, які є місцями відпочинку людей, є актуальним і невирішеним на сьогодні завданням. При цьому варто зазначити, що недосконаліть системи екологічного моніторингу, що функціонує в нашій країні, не дозволяє робити точні прогнози та розробляти обґрунтовані рекомендації, спрямовані на забезпечення належного рівня екологічної безпеки зазначених територій.

Аналіз методологічних підходів [4–6] показав, що одним з найперспективніших для оцінювання рівня екологічної безпеки певних об’єктів чи компонентів довкілля є індикаторний підхід. Тому розробці систем індикаторів приділяють велику увагу як вітчизняні, так і закордонні вчені, а також такі міжнародні організації, як Комісія

ООН зі сталого розвитку, Міжнародний інститут сталого розвитку (IISD), Науковий комітет з проблем навколишнього середовища (SCOPE), Організація Економічного Співробітництва й Розвитку (OECP), екологічна організація UNEP (United Nations Environment Program) [5, 7, 8] тощо. Однак вивчення літературних джерел дало змогу дійти висновку, що існуючі підходи до оцінювання рівня екологічної безпеки територій, а також окремих компонентів довкілля, хоча й характеризуються великою кількістю різноманітних показників, однак жоден з них не може бути безпосередньо застосований для встановлення й прогнозування екологічної небезпеки територій, зумовленої техногенним навантаженням з боку автотранспортних потоків.

Особливої гостроти розв'язок зазначених завдань набуває для міських територій, які активно використовуються населенням для відпочинку й оздоровлення (парки, сквери, території поряд з водними об'єктами тощо). Ці місця не завжди є спеціально організованими для відпочинку, багато з них виникають стихійно (неорганізовано), але це не зменшує важливості проблеми забезпечення їх екологічної безпеки та зменшення ступеня ризику для здоров'я людей. Отже, вдосконалення системи екологічного моніторингу міських територій, особливо тих, що мають оздоровче (рекреаційне) призначення, є надзвичайно актуальним науково-практичним завданням, а результати досліджень щодо їх екологічного стану, якості ґрунтового покриву і поверхневих вод, атмосферного повітря тощо допоможуть обґрунтовано визначати причини їх деградації, робити прецизійні прогнози та оцінювати екологічні ризики для населення міста.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Метою дослідження є вдосконалення існуючої системи екологічного моніторингу міських зон відпочинку (в тому числі й стихійно утворених), на які чинять негативний вплив розташовані поряд напружені автодороги та автомагістралі.

Об'єктами дослідження обрано декілька зон відпочинку людей у м. Києві (табл. 1), поряд з якими, по-перше, розташовані автодороги, а, по-друге, які містять поряд певний водний об'єкт (озеро природного чи штучного походження, затоку Дніпра тощо), що збільшує їх привабливість серед населення міста.

Таблиця 1.

**Характеристика об'єктів дослідження (на прикладі зон відпочинку людей поблизу водних об'єктів м. Києва)**

| № | Зона відпочинку людей | Дорога, поряд з об'єктом дослідження | Географічні координати: широта (north), довгота (east) [9] | Відомості про водний об'єкт |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Територія відпочинку поряд з озером Райдужне. | вул. Райдужна | 50,481896, 30,583619 | Статус озера – ландшафтний заказник місцевого значення; довжина озера – 1400 м, середня ширина – 100 м. |
| 2 | Територія відпочинку поряд з озером Сонячне. | вул. Ревуцького | 50,419594, 30,638759 | Довжина озера – 660 м, середня ширина – 280 м. |
| 3 | Територія відпочинку поряд зі ставками № 15 (Святошинське озеро) і № 14. | Брест-Литовське шосе | 50,459606, 30,330699 та 50,451035, 30,345422 | Став № 15 має довжину 1700 м, ширину 515 м. Став № 14 має довжину 965 м, ширину 244 м. |
| 4 | Територія відпочинку поряд з озером Тельбін. | Дарницьке шосе | 50,424553, 30,608433 | Довжина озера – 670 м; середня ширина – 450 м. |
| 5 | Територія відпочинку поряд з озером Жандарка. | проспект Петра Григоренка | 50,413002, 30,619792 | Довжина озера – 760 м; середня ширина – 100 м; біля озера заплановано побудувати парк площею 5,9 га. |
| 6 | Територія відпочинку поряд з озерами Лебедине і Вирлиця. | проспект Миколи Бажана | 50,402236, 30,645075 та 50,397120, 30,660498 | Довжина озера Вирлиця – 1320 м; середня ширина – 900 м. Довжина озера Лебедине – 480 м; середня ширина – 250 м; біля озера планується побудувати фітнес-парк. |
| 7 | Територія відпочинку поряд з озером у парку імені Генерала Ватутіна. | проспект Генерала Ватутіна | 50,496920, 30,598855 | Довжина озера – 950 м; середня ширина – 50 м. |
| 8 | Території відпочинку на узбережжі Дніпра. | | 50,419914, 30,578886 | Водний об'єкт – річка Дніпро |
| 9 | Зони відпочину на Русанівській набережній. | | 50,436928, 30,591758 | Водний об'єкт – річка Дніпро |
| 10 | Територія відпочинку у парку "Нивки". | проспект Перемоги | 50,460643, 30,409797 | Водні об'єкти озера в парку "Нивки" |

**Основна частина.** На сьогодні для контролю якості поверхневих вод і ґрунтів застосовують, як правило, мікробіологічний аналіз, а також фізико-хімічні методи визначення органолептичних, токсикологічних та інших показників [10]. Проте реагентні методи, які найчастіше застосовуються для аналізу вмісту ШР у компонентах навколишнього середовища, як правило, є трудомісткими, дорогими і потребують великих витрат часу на проведення аналізу. Вони не надають швидких прецизійних даних щодо якості досліджуваних об'єктів і прогнозування комплексного впливу токсикантів. Окрім того, такі дослідження є статичними, а між відбором проби і її аналізом у лабораторії проходить досить тривалий час.

Оскільки в системі екологічного моніторингу контролювати весь спектр забруднювачів є досить складною задачею, то для оцінювання екологічної безпеки досліджуваних міських територій рекреаційного призначення, а також для дослідження динаміки зміни показників якості ґрунтового покриву і поверхневих вод нами обрано такі індикаторні показники, як електропровідність, кислотність pH та оптичні властивості природних розчинів (тільки для аналізу проб води). Зазначені характеристики обрано через те, що, по-перше, вони досить точно характеризують комплексний вплив багатьох чинників, а, по-друге, легко піддаються вимірюванню, в тому числі й за допомогою портативних приладів.

Отже, для дослідження якості ґрунтового покриву і поверхневих вод застосовували комплекс фізико-хімічних методів – методи експрес-контролю якості середовища, серед яких методи потенціометрії, кондуктометрії та рефрактометрії. При виконанні повної програми екологічного моніторингу зазначених територій додавали також методи денсиметрії (вимірювання густини за піктометричним методом), віскозиметрії (вимірювання кінетичної в'язкості віскозиметром Оствальда) та сталагмометрії (вимірювання поверхневого натягу за допомогою сталагмометра). Для водних об'єктів досліджувались також органолептичні показники проб – запах, забарвленість, каламутність тощо.

Здійснювались також польові дослідження орографії місцевості та натурні спостереження за характеристиками автотранспортних потоків, що рухаються автодорогами поряд з досліджуваними територіями відпочинку людей. Далі за допомогою математичного моделювання з використанням диференціального рівняння турбулентної дифузії [11, 12] у програмному середовищі MathCad здійснювали обчислювальний експеримент для визначення рівня забруднення атмосферного повітря і прилеглих до автодоріг територій такими інгредієнтами відпрацьованих газів, як оксиди Карбону й

Нітрогену, дрібнодисперсний пил за різних метеорологічних і погодних умов.

Лабораторно-аналітичний метод (якісний і кількісний аналізи) використовували для визначення вмісту певних хімічних елементів та іонів у водних ґрунтових витяжках і пробах води. Особливу увагу приділяли вмісту у досліджуваних ґрунтах і пробах води сполук важких металів, а також вмісту хлорид- $Cl^-$ і сульфат-іонів $SO_4^{2-}$. Детальніше методики відбору проб ґрунту і води, а також приготування водних ґрунтових витяжок описано в роботі [13]; методики проведення лабораторних досліджень – у роботах [13, 14]. Проби поверхневих вод відбирались з глибини 5–10 см від поверхні.

Одним з найважливіших показників, що зумовлює характер хімічних і біологічних процесів, які відбуваються у ґрунті чи водному середовищі, є показник кислотності pH. Залежно від його значення можуть змінюватися швидкість перебігу і навіть напрямок хімічних і фізико-хімічних перетворень речовин, зростати чи зменшуватися їх токсичність і корозійна активність середовища.

Кислотність водних розчинів визначається концентрацією іонів Гідрогену $H^+$ в одному літрі (1 $дм^3$) розчину; для аналізу кислотно-основних властивостей водних розчинів використовують показник pH, який є від'ємним десятковим логарифмом концентрації іонів Гідрогену:

$$pH = - \lg C(H^+). \quad (1)$$

де $C(H^+)$ – молярна концентрація іонів Гідрогену, моль/$дм^3$.

За значенням pH водні розчини поділяють на:
– сильнокислі (pH<3);
– кислі (pH = 3−5);
– слабкокислі (pH = 5−6,5);
– нейтральні (pH = 6,5−7,5);
–слабколужні (pH = 7,5−8,5);
– лужні (pH = 8,5−9,5) та
– сильнолужні (pH>9).

Як правило, більшість природних вод мають нейтральну або слабко кислу реакцію. Це спричинено тим, що такі природні речовини, як Карбон(IV) оксид, оксиди Нітрогену і Сульфуру тощо розчиняються у воді з утворенням розчинів слабких і сильних кислот. При цьому pH води може суттєво відрізнятися для різних об'єктів і в різних місцевостях, причому, як у бік кислого, так і у бік лужного середовища. Отже, саме співвідношення сполук кислого і основного характеру в досліджуваних об'єктах формує значення показника pH,

тому за його динамікою зміни можна оцінити зміни в екологічному стані об’єкта та зробити висновки щодо його екологічної безпеки.

Потенціометричний метод визначення pH водних середовищ базується на вимірюванні електрорушійної сили електрохімічної комірки, яка складається з двох електродів – скляного (індикаторного) електрода і електрода порівняння (зазвичай, хлорсрібного) та досліджуваного розчину електроліту. Вимірювання проводили лабораторними іономірами, шкала яких подана в одиницях pH. Перед використанням прилади калібрували за допомогою буферних розчинів з відомими значеннями pH. Оскільки результат вимірювання залежить від температури проби, то цей вплив,як правило, компенсувався спеціальним пристроєм, вмонтованим у прилад. Час виконання одного вимірювання становить ~3−4 хв.

У роботі проведено потенціометричний аналіз водних ґрунтових витяжок і проб води на досліджуваних територіях – зонах выдпочинку людей у теплу та холодну пори року. Результати вимірювання кислотності ґрунтових витяжок на прикладі зони відпочинку людей поряд з озером Райдужне (див. табл. 1) подано на рис. 1. Додатково вивчали зміну кислотності та вмісту хлорид-іонів $Cl^-$ (кислотно-сольове забруднення) у пробах снігу і дощу за методикою, поданою у роботі [13].

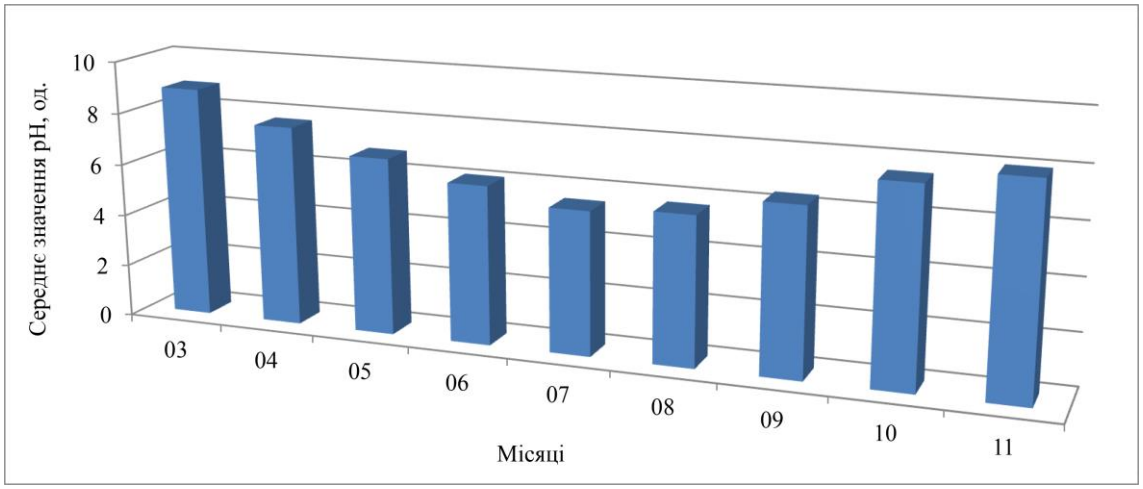



Рис. 1 Динаміка pH водних ґрунтових витяжок (усереднені значення) на території зони відпочинку людей поряд з озером Райдужне.

Як свідчать дані рис. 1, у теплу пору року (влітку) pH досліджуваних проб ґрунту є дещо нижчими, ніж у холодну пору року (ранньою весною). Отже, в теплу пору року кислотність ґрунтових розчинів підвищується. Як було показано в роботі [13], це може бути зумовлено тим, що взимку комунальні служби досить активно використовують сольові протиожеледні засоби, які з талими

водами потрапляють до ґрунту, а також здійснюють так звану роторну перевалку забрудненого снігу.

Аналіз значень pH ґрунтових витяжок на досліджуваних територіях – зонах відпочинку людей показав також, що найнижчі значення кислотності спостерігаються на відстані до 15 м від центру дороги. При цьому різниця між значеннями pH водного об'єкта і витяжок з ґрунту (на відстані 5 м від дороги) складає 0,5–1,7 одиниць pH. Однак такі зміни кислотності не можна вважати закономірними, оскільки на формування pH ґрунту і води значно (але по-різному) впливають зелені насадження. Зокрема, наявність "зеленого екрану" (наприклад, трав'яного покриву, кущів, дерев тощо) може сильно змінювати показник pH, навіть при однаковому транспортному навантаженні на території.

Через можливість перебігу у водних середовищах різноманітних гідролітичних процесів солі, що потрапляють до ґрунту або водного об'єкту і містять або катіон слабкої основи, або аніон слабкої кислоти (або обидва іони слабких електролітів), здатні змінювати pH середовища в бік кислого чи лужного, відповідно, або через процеси нейтралізації – наближати його до нейтрального середовища (pH $\rightarrow$7).

Наприклад, солі, утворені сильною кислотою і сильною основою, взагалі не підлягають гідролізу, а тому не змінюють pH середовища:

$$NaCl + HOH \rightleftharpoons NaOH + HCl;$$

$$Na^+ + Cl^- + HOH \rightleftharpoons Na^+ + OH^- + H^+ + Cl^-;$$

$$HOH \rightleftharpoons OH^- + H^+ .$$

Якщо сіль утворена слабкою основою і сильною кислотою (наприклад, $NH_4Cl$, $CuSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ тощо), то pH такого розчину через гідролітичні процеси зміщується в бік кислого середовища (pH < 7), оскільки гідроліз солі відбуватиметься "за катіоном", і при цьому утвориться надлишок катіонів Гідрогену $H^+$:

$$Cu(NO_3)_2 + HOH \rightleftharpoons (CuOH)NO_3 + HNO_3;$$

$$Cu^{2+} + 2NO_3^- + HOH \rightleftharpoons CuOH^+ + NO_3^- + H^+ + NO_3^-.$$

I ступінь: $Cu^{2+} + HOH \rightleftharpoons CuOH^+ + H^+$, pH < 7 (кисле середовище);

Як правило, за звичайних умов гідроліз солей відбувається тільки за першим ступенем, але за певних умов можливим є й другий ступінь, а саме:

II ступінь: $CuOH^+ + HOH \rightleftharpoons Cu(OH)_2 + H^+$, pH < 7.

Якщо сіль утворена сильною основою та слабкою кислотою, то її гідроліз відбуватиметься "за аніоном", а внаслідок гідролітичних процесів утвориться надлишок гідроксил-іонів $OH^-$. Реакція середовища при цьому зміститься у лужний бік, тобто pH > 7:

I ступінь: $CO_3^{2-} + \overset{+}{H}\overset{-}{OH} \rightleftharpoons HCO_3^- + OH^-$, pH > 7 (лужне середовище). Тоді у молекулярному вигляді рівняння має вигляд:

$$Na_2CO_3 + HOH \rightleftharpoons NaHCO_3 + NaOH;$$

II ступінь: $HCO_3^- + \overset{+}{H}\overset{-}{OH} \rightleftharpoons H_2CO_3 + OH^-$, pH > 7.

У молекулярному вигляді: $NaHCO_3 + HOH \rightleftharpoons H_2CO_3 + NaOH$.

Солі, утворені слабкою основою і слабкою кислотою, гідролізують майже повністю, а реакція середовища при цьому буде визначатися співвідношенням констант дисоціації слабких кислоти й основи та прямуватиме до 7. Отже, середовище, скоріше за все, буде або нейтральним, або слабко кислим чи слабко лужним.

Таким чином, метод потенціометрії, хоча і є дуже чутливим до потрапляння певних забруднювачів до компонентів навколишнього середовища, не може надавати повну інформацію щодо змін в екологічному стані, наприклад, ґрунтів чи водних об’єктів. На нашу думку, потенціометричні вимірювання обов’язково потрібно комбінувати з кондуктометричними дослідженнями, а також з вимірюваннями оптичної густини та показника заломлення досліджуваних розчинів (оптичні методи дослідження).

Питома електропровідність водних розчинів є показником-індикатором вмісту (потрапляння) органічних і неорганічних електролітів. Вимірювання за методом прямої кондуктометрії здійснювали за допомогою моста змінного струму в спеціальній електролітичній комірці з платиновими електродами. При аналізі опір розчину вимірювали за температури $20{,}00 \pm 0{,}05$ °С з використанням водяного термостату.

Питому електропровідність досліджуваних розчинів розраховували за формулою:

$$\chi = k\ f\ 10^{-6} / R, \qquad (2)$$

де $\chi$ − питома електропровідність розчину, См·см$^{-1}$;

к − стала електролітичної комірки;

f − температурна поправка (довідкові дані, застосовується для температур, що відрізняються від 20 °C;
R − опір, Ом.

Результати вимірювань оброблювали статистично на рівні значущості α =0,05. Сталу комірки визначали за табличними значеннями питомої електропровідності стандартних розчинів Калій хлориду KCl при температурі, що відповідає температурі досліду. Результати вимірювань досліджуваного водного об'єкта (озеро Райдужне) у різні пори року подано на рис. 2. За результатами наших вимірювань питома електропровідність складала в середньому 705–1380 мкСм/см.

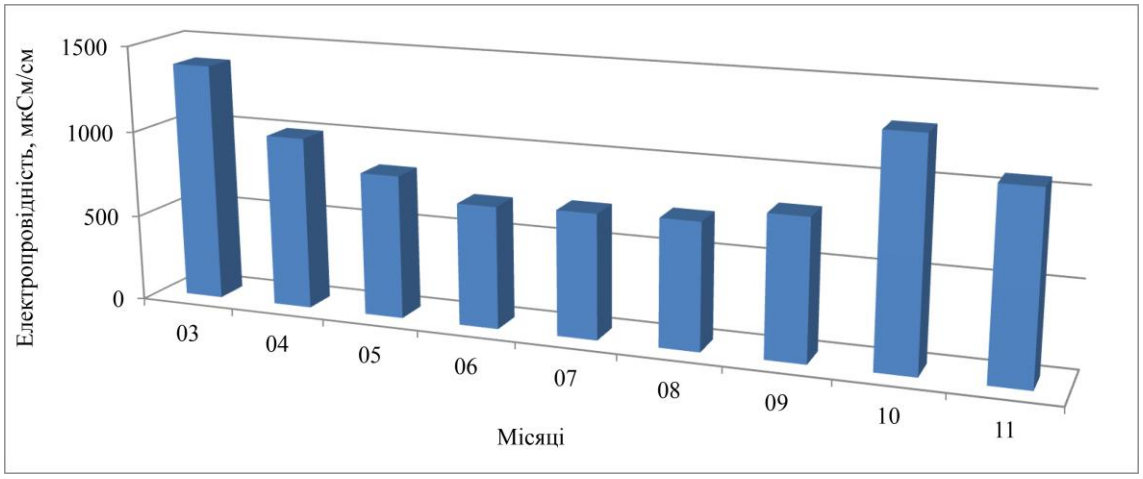



Рис. 2 Динаміка питомої електропровідності (усереднені значення) проб води (озеро Райдужне) у різні пори року.

Електропровідність χ слугує індикаторною характеристикою загального солевмісту у водному розчині [15], а, отже, її зміни дають змогу робити висновки щодо потрапляння, накопичення або, навпаки, зменшення концентрації розчинених у воді електролітів. Отже, у дослідженні за динамікою питомої електропровідності водних ґрунтових витяжок і проб води пропонується дослідити зміни в екологічному стані зон відпочинку людей (рис. 2) і на основі цього отримати оперативну інформацію стосовно потрапляння до компонентів навколишнього середовища забруднювачів-електролітів для прийняття відповідних заходів (наприклад, провести детальний хімічний аналіз, визначити конкретний забруднювач, джерело його потрапляння тощо).

У той самий час завдяки процесам коагуляції та/або осадження, а також через вторинні хімічні перетворення речовин-забруднювачів показник питомої електропровідності проб води може суттєво знизитися, що надасть інформацію нібито про зниження концентрації

розчинних форм електролітів у водному середовищі та, відповідно, про зменшення шкідливості води. Однак утворені внаслідок таких процесів осади, зкоагульовані речовини будуть осаджуватися й накопичуватися, наприклад, у донних відкладеннях або на рослинності, що також несе певну загрозу для гідробіонтів.

Як видно з даних, наведених на рис. 2, на початок літа вплив забруднювачів-електролітів є мінімальним, тоді як після танення снігу (березень–квітень) та восени досліджуваний водний об'єкт є сильно забрудненим. Окрім того, результати вимірювань (розрахунку) електропровідності за квітень значно нижчі, ніж за березень, що можна пояснити забрудненим солями стоком талих вод через застосування взимку протиожеледних засобів.

Показники питомої електропровідності у жовтні майже в 2 рази перевищують ті самі показники у червні. Це можна пояснити й погодними умовами (тумани, температурні інверсії тощо), зміною метеорологічних умов (напрямок вітру та швидкість вітру), а також активним відпочинком людей упродовж весняних і літніх місяців. У листопаді електропровідність проб води суттєво зменшується, вірогідно, через часті дощі (відбувається розведення води водойми) і похолодання, що, в свою чергу, зменшує кількість відпочиваючих на природі.

Отже, як можна побачити з рис. 2, при потраплянні електролітів-забруднювачів до ґрунтів, ґрунтових чи поверхневих вод за допомогою кондуктометричного методу можна швидко встановити випадки раптового забруднення та розробити заходи зі зменшення ризику для здоров'я населення. Це є надзвичайно важливим при потраплянні до компонентів навколишнього середовища сполук ВМ і особливо – їх розчинних форм. Отже, після встановлення факту забруднення певного компонента середовища сполуками-електролітами рекомендується застосувати аналітичні методи ідентифікації забруднювачів, а також визначення вмісту окремих хімічних елементів, що надасть можливість, по-перше, встановити джерело (джерела) забруднення, по-друге, локалізувати забруднений осередок, а, по-третє, попередити виникнення надзвичайної ситуації і підвищення ризику для здоров'я людей.

З метою встановлення рівнів шкідливого впливу автотранспортних потоків на досліджувані зони відпочинку людей (табл. 1), запропоновано інтегральний показник техногенного навантаження (ІПН), який характеризує вплив викидів АТЗ на екологічну безпеку компонентів міського навколишнього середовища. Відповідно до авторської методики, ІПН розраховується на основі попередньо визначених показників геохімічного забруднення повітряного середовища, ґрунтів і водойм.

Показники геохімічного забруднення ґрунтів і водойм визначаються за допомогою описаних вище методів експрес-контролю (зокрема, методів потенціометрії, кондуктометрії та оптичних методів дослідження), а рівні геохімічного забруднення атмосферного повітря (і придорожніх територій) визначаються шляхом проведення натурних спостережень за автотранспортними потоками, що рухаються автодорогами поблизу досліджуваних зон відпочинку, та за допомогою моделювання полів дисперсії забруднювачів – основних інгредієнтів відпрацьованих газів АТЗ на основі диференційного рівняння турбулентної дифузії. Детально сутність методики описано у роботі [16].

Таким чином, за допомогою побудованих полів дисперсії ШР у повітряному просторі визначається кратність перевищення максимальних разових гранично допустимих концентрацій ($ГДК_{м.р.}$) кожного з досліджуваних забруднювачів і за цими показниками робиться висновок щодо рівня екологічної небезпеки певної території. У загальному вигляді визначення ІПН передбачає оцінювання кожного з компонентів середовища (атмосферного повітря, ґрунтового покриву та за наявності водойми) за градаціями від 1 до 4-х балів, де 1 бал – екологічно безпечний рівень забруднення, а 4 бали – екологічно неприйнятний рівень.

У такому випадку інтегральний показник техногенного навантаження набуватиме значень $3 \le ІПН \le 12$. Проте в залежності від виду діяльності людей у зоні відпочинку, наявного обсягу даних тощо ІПН може визначатися і без урахування, наприклад, геохімічного забруднення водойми (у разі її відсутності або якщо відпочинок людей не передбачає її вплив). Тоді показник ІПН набуватиме значень $2 \le ІПН \le 8$.

Зважаючи на те, що у межах проведеного дослідження забруднення водойм безпосередньо не ураховувалось, інтегральний показник техногенного навантаження на досліджувані зони відпочинку з боку автотранспорту розраховували за формулою:

$$ІПН = k_A \cdot x_A + k_S \cdot x_S, \quad (3)$$

де $k_A$ і $k_S$ – вагові коефіцієнти для показників геохімічного забруднення повітряного середовища і ґрунтів (зазвичай приймаються такими, що дорівнюють одиниці, але за необхідності можуть бути скореговані врахуванням діяльності людей, відпочиваючих на забрудненій території);

$x_A$ і $x_S$ – значення показників геохімічного забруднення повітряного середовища і ґрунтів, відповідно, бали.

Отже, за даними ІПН проведено ранжирування досліджених зон відпочинку (див. табл. 1); результати ранжирування подано на рис. 3. Як видно з рисунку, найбільшому техногенному навантаженню піддаються зони відпочинку поряд з озерами № 15 і № 14, Лебедине і Вирлиця, а також територія поряд з озером у парку імені Генерала Ватутіна. Ці території за комплексним впливом на ґрунтовий покрив і атмосферне повітря є потенційно екологічно небезпечними з точки зору перебування на них відпочиваючих. Особливо це стосується дітей, які грають на забрудненій території, і дорослих, які відпочивають у кафе (ресторанах), розташованих у безпосередній близькості до дороги.

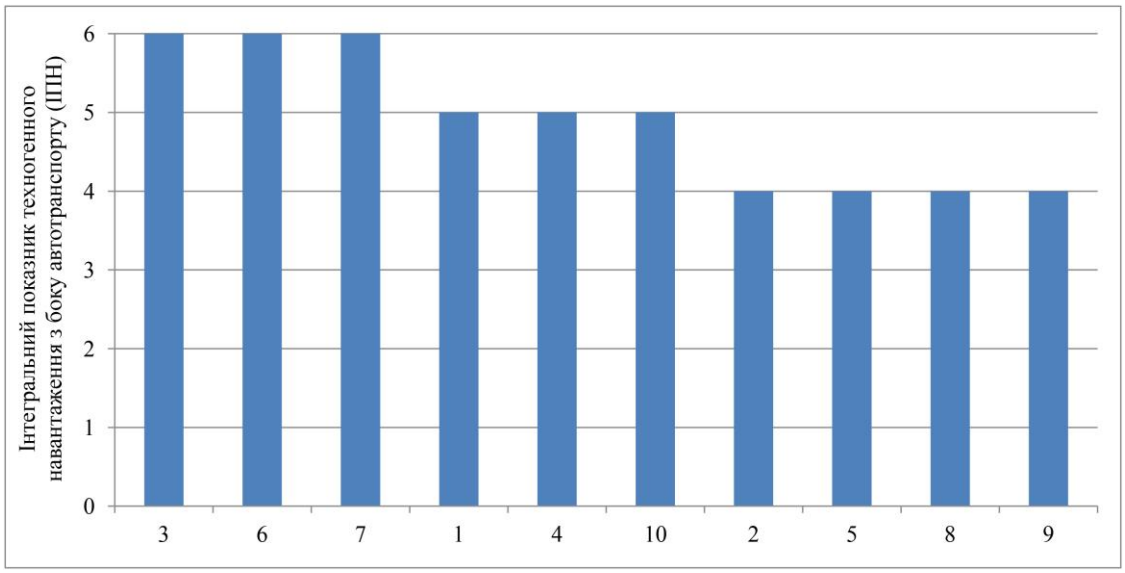



Рис. 3 Ранжирування досліджуваних зон відпочинку людей (табл. 1) за інтегральним показником техногенного навантаження ІПН з боку автотранспорту (без урахування забруднення розташованих поряд водойм)

Із використанням програмного продукту Gnuplot та на основі обробки результатів математичного моделювання у середовищі MathCad побудовано залежності інтегрального показника техногенного навантаження від двох параметрів – викидів ШР двигунами АТЗ та безпечної відстані від дороги (відстань, на якій уже не спостерігається перевищення $ГДК_{м.р.}$ жодного із проаналізованих забруднювачів).

Таким чином, аналіз візуалізованих залежностей надав змогу спрогнозувати взаємний вплив інтенсивності руху автотранспортних потоків та відстані від дороги на геохімічне забруднення міської придорожньої території. Встановлено, що найвищі значення ІПН відповідають областям максимальних обсягів викидів ШР, які розповсюджуються за певних погодних і метеорологічних умов на

великі відстані від дороги, що характерно видно на прикладі, наведеному на рис. 4.

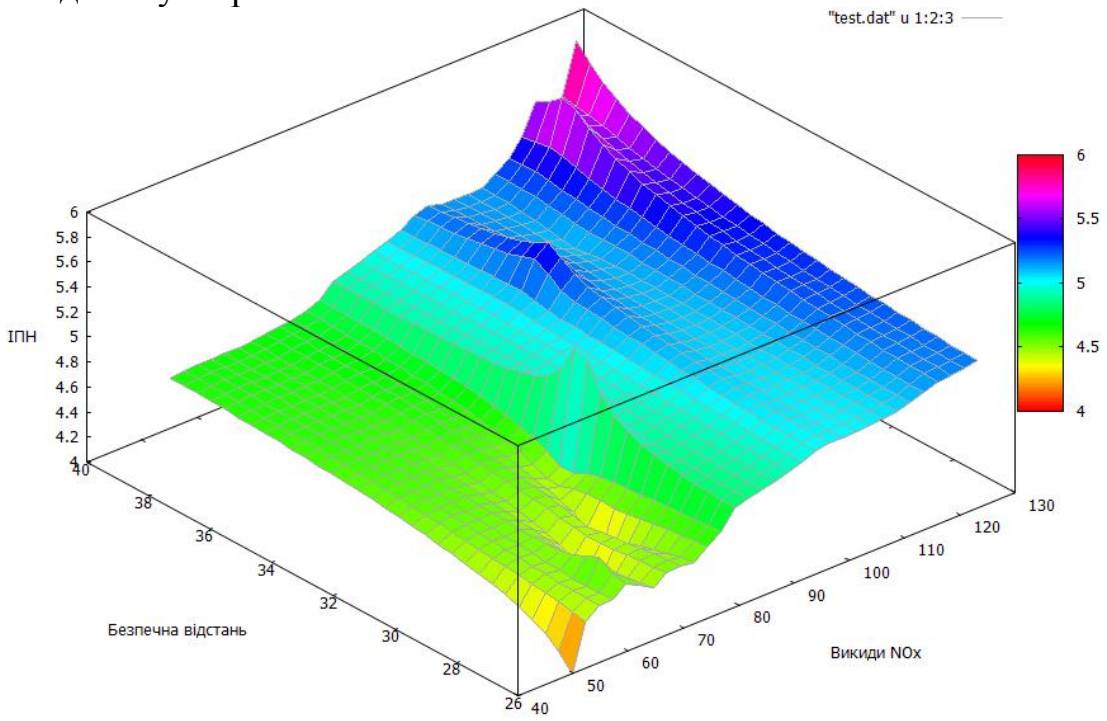



Рис. 4. Залежність інтегрального показника техногенного навантаження ІПН від двох параметрів – викидів оксидів Нітрогену $NO_x$ (у перерахунку на $NO_2$) та безпечної відстані від дороги.

**Висновки**. 1. Негативний вплив забрудненого середовища (води, ґрунту, атмосферного повітря тощо) безпосередньо відбивається на порушеннях у стані здоров'я людей, життєдіяльності тварин і рослин, деградації компонентів навколишнього середовища і екосистем. У зв'язку з цим запропоновано використання методів потенціометрії, кондуктометрії та оптичних методів дослідження як методів експрес-контролю якості та екологічного стану територій оздоровчого призначення (організованих або стихійних).

2. Побудовано поля дисперсії повітряного середовища та встановлено рівень забруднення території поряд з автодорогами, з якими межують зони відпочинку людей. Проведено моніторинг стану поверхневих вод і ґрунтового покриву за методами потенціометрії, кондуктометрії тощо, що дало можливість встановити періоди різкої зміни забруднення досліджуваних об'єктів та надати рекомендації з розробки відповідних заходів.

3. Виявлено джерела та проведено оцінку екологічної небезпеки від автотранспортних забруднень зон відпочинку людей за допомогою інтегрального показника техногенного навантаження; на основі цього здійснено ранжирування досліджуваних зон відпочинку м. Києва. Встановлено закономірності та динаміку показників якості

навколишнього природного середовища, зокрема, показника pH та питомої електропровідності водних і ґрунтових розчинів.

4. Встановлено, що зелені насадження чинять значний вплив на досліджувані показники якості компонентів довкілля, захищаючи території від автотранспортного забруднення, сприяючи осадженню і локальному концентруванню забруднювачів. Однак для людей, які регулярно й активно відпочивають у таких небезпечних в екологічному сенсі зонах, відпочинок може виявитися небезпечним для їх здоров'я. І особливо це стосується селітебних районів, де мешканці міста разом з дітьми щоденно відвідують і тривалий час знаходяться на таких забруднених територіях, призначених для оздоровлення.

**Список використаних джерел**

1. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року від 25.02.2019, № 2594-VIII// Відомості Верховної ради України. 2018. №44. Ст. 360.

2. *Центральна геофізична обсерваторія імені Бориса Срезневського*: вебсайт. URL: http://cgo-sreznevskyi.kiev.ua (дата звернення: 19.02.2019).

3. Seung-Myung Park, Beom-Keun Seo, Gangwoong Lee, Sung-Hyun Kahng and Yu Woon Jang. Chemical Composition of Water Soluble Inorganic Species in Precipitation at Shihwa Basin, Korea / *Atmosphere*. 2015. № 6. P. 732–750.

4. Крайнюков О. М. Науково-методичні основи нормування антропогенного забруднення аквальних ландшафтів: монографія / за редакцією А. В. Гриценка, А. М. Крайнюкової. Харків: Екограф, 2013. 260 с.

5. Green Growth Indicators 2014. Paris: OECD Publishing. 2016. 154 p.

6. Indikatoren für die ökonomische Bedeutung von Wasser und Gewässern. Dessau-Roßlau. 2018. P. 323. вебсайт. URL: http://www.umweltbundesamt.de/publikationen (дата звернення: 25.09.19).

7. Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Экологический визов и устойчивое развитие. М.: Традиция, 2014. 416 с.

8. Огородникова А. А., Щеглов В. В., Вейдеман Е. Л. Модель "воздействие-состояние-отклик" в решении задач экологического мониторинга загрязнения прибрежной экосистемы / *Известия ТИНРО*. 2004. №137. С. 321–336.

9. Google Maps: вебсайт. URL: https://www.google.com.ua/maps (дата звернення: 21.02.2019).

10. Фещенко В. П. Раціональне використання та відновлення водних ресурсів: монографія / за заг.ред. В. П. Фещенка. Житомир: Вид-во ЖДУ ім. І. Франка, 2016. 250 с.

11. Берлянд М. Е. Современные проблемы атмосферной диффузии и загрязнения атмосферы. Л.: Гидрометеоиздат, 1975. 448 с.

12. Холоднов В. А., Решетиловский В. П., Лебедева М. Ю., Боровинская Е. С. Системный анализ и принятие решений. Компьютерное моделирование и оптимизация объектов химической технологии в Mathcad и Excel: учеб. пособ. СПб:СПбГТИ (ТУ), 2007. 425 с.

13. Борисов О. О. Геоекологічна оцінка ризику кислотно-сольового забруднення примагістральних ділянок педосфери (на прикладі міста Києва) / О. О. Борисов // *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2016. № 4(96). С. 41−48.

14. Борисов О. О., Кофанова О. В. Комплексний аналіз геохімічного стану придорожніх територій великого міста // *Вісник Нац. техніч. ун-ту "ХПІ"*. Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях. – Х : НТУ "ХПІ". 2017. № 32 (1254). С. 91−97. DOI:10.20998/2413-4295.2017.32.15.

15. Hem J D. Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water. 2-nd ed. Geological Survey Water Supply Paper 1473, United States Government Printing Office. Washington, 1970. 363 p.

15. Кофанова Е. В., Борисов А. А., Евтеева Л. И. Рассеивание вредных веществ в придорожном воздушном пространстве вблизи водных объектов г. Киева // *Горная механика и машиностроение.* 2018. № 2. С. 31−38.

## ПОТЕНЦИОМЕТРИЯ, КОНДУКТОМЕТРИЯ И РЕФРАКТОМЕТРИЯ КАК МЕТОДЫ ЭКСПРЕСС-КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОЧВ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В ЗОНАХ ОТДЫХА ЛЮДЕЙ

**Борисов А. А., Кофанова Е. В.**

***Аннотация*** **–** на примере зон отдыха людей в городе Киеве, расположенных вблизи автодорог, проанализированы закономерности изменения их экологического состояния. Предложено и обосновано для экспресс-контроля экологической нагрузки со стороны автотранспортных потоков применять методы потенциометрии, кондуктометрии, а также оптические методы исследования (например, рефрактометрию). Исследованы физико-химические характеристики поверхностных вод и грунтовых вытяжек на городских территориях рекреационного предназначения, изучено их динамику. Проведено ранжирование исследуемых рекреационных территорий с помощью предложенного интегрального индекса техногенной нагрузки, учтена деятельность людей на этих территориях. Определены приоритетные направления снижения риска нарушения здоровья людей в связи с вредным воздействием выбросов автотранспортных средств на территориях, предназначенных для отдыха и оздоровления людей.

***Ключевые слова:*** автотранспортные средства, отработавшие газы, экологический риск, загрязнение окружающей среды, водные объекты, почвенный покров, грунт.

## POTENTIOMETRY, CONDUCTOMETRY AND REFRACTOMETRY AS METHODS FOR EXPRESS CONTROL OF SOILS AND SURFACE WATERS QUALITY ON THE RECREATIONAL TERRITORIES

**O. Borysov, O. Kofanova**

***Summary***

The regularities of the change of the ecological state of the urban territories were analyzed on the example of Kyiv city recreational areas, which are located near highly loaded motorways. It was proposed and substantiated to use potentiometry, conductometry and optical methods (for example, refractometry) for express control of environmental loading levels caused by motor traffic flows. Physicochemical characteristics of surface waters and soil water extracts from urban recreational territories, as well as the dynamics of the characteristics were investigated. Ranking of the studied recreational territories using the proposed integral index of the technogenic load was conducted taking into account the activities of people on these territories. The priority directions for reducing the risk of human health damage due to the harmful effects of vehicle emissions in recreational areas were outlined. Dispersion fields for the air environment of the roadside areas near recreational territories were modeled and the level of pollution of the territories was established. Surface waters and soil cover were monitored by potentiometry, conductometry etc., which made it possible to establish periods of dramatic change in pollution levels and provide recommendations for the development of appropriate measures. It has been established that green spaces have a significant impact on the investigated indicators of the quality of the environment components. Green spaces protect territories from vehicle pollution; facilitate the deposition and local concentration of harmful substances. However, for people who regularly and actively rest in such environmentally hazardous areas, recreation can be quite dangerous. This is especially relevant for the residential areas where families visit recreational areas on a daily basis and stay on such polluted territories for a long period of time.

***Keywords:*** vehicles, exhaust gases, environmental risk, environmental pollution, waters, soil cover, soil.

**УДК 631.3** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-45**

# ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ДРОНІВ У ЗАДАЧАХ ОБПРИСКУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КУЛЬТУР ТА ШЛЯХИ ЇХ ВИРІШЕННЯ

**Діордієв В.Т., д.т.н.** **https://orcid.org/0000-0001-8552-8215**
*e-mail: diovlatr@ukr.net*
**Кашкарьов А.О., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-6212-2615**
*e-mail: anton.kashkarov@tsatu.edu.ua*
**Семендяєв О.Є.*, аспірант** **https://orcid.org/0000-0002-2520-9121**
*e-mail: aleksandr.semendyaev@gmail.com*
*Таврійський державний агротехнологічний університет*

**Анотація** - у статті піде мова про проблеми використання дронів для обприскування сільськогосподарських культур, а саме садів і виноградників. Детальна обґрунтована актуальність напряму та галузь використання. Для цього використані статистичні дані галузі в Україні. На основі огляду наукових та науково-популярних видань за питанням використання сучасних цивільних безпілотних літальних апаратів, були визначені сильні та слабкі сторони, а також можливості і загрози їх використання за проблематикою статті. З метою подолання вказаних проблем використання дронів у задачах обприскування, запропонована концепція напівавтономного дрону з обмеженим функціоналом. Розглянуті основні функціональні елементи сучасних дронів. Акцентована увага на використанні асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором для приводу повітряних гвинтів. Поставлені завдання для подальшої роботи

**Ключові слова**: обприскування, безпілотний літальний апарат, дрон, сільське господарство, садівництво.

**Постановка проблеми.** У собівартості продукції плодоовочівництва більшу частку витрат складають витрати на добрива (14-20%), засоби захисту рослин (15-30%), паливо-мастильні матеріали (15%), амортизація устаткування (6%), сільськогосподарські послуги (6%) (внесення добрив, збирання врожаю, в залежності від культури, сорту та регіону) [1]. Сукупні витрати на добрива та засоби захисту рослин (ЗЗР) сягають близько половини загальних витрат, що робить цей напрям привабливим для зниження загальної собівартості продукції. Вважаємо, що змінити структуру витрат, зменшити їх грошовий вираз та підвищити ефективність цих видів робіт можна за умови впровадження концепції точного землеробства (ТЗ). Сьогодні базою для ТЗ є використання технологій глобального позиціонування та безпілотних літальних апаратів (БПЛА, дрони) [2, 3, 4].

© Діордієв В.Т., Кашкарьов А.О., Семендяєв О.Є.
*Науковий керівник: к.т.н., доцент Кашкарьов А.О.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблемам використання БПЛА (дронів) в сільському господарстві та шляхи їх вирішення, вибір електрообладнання присвячено багато наукових робіт вітчизняних та закордонних вчених [5, 6, 7].

Науковці світу мають технічні та організаційні рішення галузевого використання дронів [8]: задачі спостереження в екології [9] ті моніторингу параметрів мікроклімату [10], оцінці посівів [11], ультрамалооб'ємного обприскування [12]. Достатньо повно описані методики визначення параметрів керування для забезпечення стабільного руху за заданою траєкторією [13, 14]. Здебільшого, представлені та інші роботи, які не вказані у переліку літератури, орієнтовані на удосконалення алгоритмічного забезпечення, розширення функціоналу та оптимізації галузевого використання, що виконується в автономному режимі.

За напрямом роботи із добривами та засобами захисту рослин, БПЛА використовують для внесення хімічних препаратів і мінеральних добрив на посіви [15, 16]. БПЛА можуть сканувати землю і розпорошувати оптимальну кількість рідини, з урахуванням відстані до землі, культури та погодних умов. При тому що розпорошення проводиться рівномірно. Варто зазначити, що такі дрони стоять більше звичайних, однак результат вартий того: розпорошення виконується в 5 разів швидше традиційного методу, при цьому витрата добрив і мінеральних речовин оптимізується.

Для вирощування органічної продукції, окремо виділяється внесення біологічних засобів захисту, як, наприклад, трихограм - комахи-паразити, які харчуються яйцями шкідників. За допомогою дронів їх можна швидко розповсюдити в кілька етапів, трихограмма живе в умовах поля до тижня, і за цей час здатна знищити велику кількість шкідників. Стає можливим зведення до мінімуму використання пестицидів, а також заощадити на добривах.

Якість хімічної обробки безпосередньо залежить від густоти покриття оброблюваної поверхні робочим розчином. Чим більше крапель досягне своєї поверхні рослин і утримується на них, тим більш ефективною буде хімічна обробка. Проблему підвищення щільності крапель довго вирішували простим способом. Завдяки внесенню великої кількості води і використання «препаратів-прилипачів» агрономи почали отримувати якісне і рівномірне покриття. Такий підхід не придатне для БПЛА оскільки призводить до збільшення ваги корисного вантажу, що вимагає збільшення потужності силового устаткування.

«Що якщо не збільшувати обсяг рідини, а зменшити саму краплю?». Такий підхід став ключовим для технології ультрамалооб'ємного обприскування (УМО) - технологія, яка

передбачає внесення ЗЗР з мінімальними витратами робочого розчину - від 0,5 до 5 л / га. Розмір краплі близько 100 мікрометрів дозволяє забезпечити гарне проникнення препарату в продихи навіть дуже густих посівів. Зараз за кордоном і у нас в країні все більше використовуються УМО з використанням БПЛА. Це відкрило такі можливості:

- рідина рівномірно покриває всю оброблювану поверхню;
- за рахунок своєї легкості краплі не скачуються вниз;
- краплі потрапляють чітко в продихи листа;

Оскільки робочого розчину стало менше, зменшуються обсяги води, що сприяє використанню БПЛА.

В Україні технологія внесення ЗЗР дронами тільки розвивається, і компаній, які надавали б такі послуги в промислових масштабах, поки немає. Азіатські рішення для українських аграріїв важкодоступні через свою надвисокої вартості: дрон «Yamaha» коштує майже 2,5 мільйона гривень; «Agras» коштує 385 000 гривень, але його продуктивність набагато нижча [15, 16].

Тому за проектування дронів взялися вітчизняні стартапи. Серед тих, хто працює в цьому напрямку, слід назвати українську компанію Kray Technologies. Її фахівці розробляють інноваційні рішення для фермерів - безпілотники з власним програмним забезпеченням. Вартість одного дрона зараз становить приблизно $ 50 000. Український дрон оснащений системою комп'ютерного бачення, яка дозволяє розпізнавати перешкоди і автоматично обходити їх. Камери здатні розпізнавати рельєф на відстані 10-70 метрів, лідар - 5-25 метрів. В майбутньому на моделях встановлять апарат «комп'ютерного зору», який буде працювати в нічному режимі. Робочий цикл дрона: 15 хвилин - 1 політ і 1 хвилина обслуговування. За один цикл він обробляє до 14 га. Час заряду пари акумуляторів - до 60 хвилин. Продуктивність - від 27 до 48 га на годину, приблизно 250 га в день. Поки дрон доступний тільки для участі в пілотних проектах.

За даним напрямом все частіше стали розвиватися агро-IT стартапи, які оптимізують використання дронів в сільському господарстві. Спеціально створені системи моніторингу цих процесів дозволяють знизити витрати на такі роботи до 80% [2]. Комплекси моніторингу, які слідкують за мобільними СГМ можуть корегувати курс та оцінювати якість роботи. Але їх використання супроводжується певними обмеженнями, які зумовлені часом льоту, корисною вагою, віддаленістю від джерел енергії, вартістю акумуляторів та загальними капітальними вкладеннями на ефективне впровадження.

**Метою статті** зниження витрат на виробництво продукції садівництва шляхом оцінки проблем використання дронів у задачах

обприскування сільськогосподарських культур шляхом формалізації розробки електротехнічного комплексу на основі дрону з обмеженим функціоналом.

**Основний зміст статті.** Аналіз джерел інформації показав, що використання сучасних БПЛА має ряд особливостей, зумовлених специфікою умов сільського господарства та показниками економічної ефективності. На наш погляд, результати аналізу можна подати за прикладом SWOT-аналізу (табл. 1) [4, 5, 6, 7, 17].

Таблиця 1. Аналіз використання БПЛА (дрони) в умовах відкритого ґрунту

| **Сильні сторони** | **Слабкі сторони** |
|---|---|
| Екологічно чиста енергія (переважно використовується електрична енергія)<br>Адаптація під системи точного землеробства (збір даних про стан територія та культур)<br>Механічно не впливає на ґрунти<br>Можлива організація цілодобової роботи | Законодавча база (отримання дозволів)<br>Мала вантажопіднімальна здатність<br>Висока вартість матеріалів та обладнання для ремонту та обслуговування<br>Висока вартість програмного забезпечення для управління та позиціонування, а також зберігання та аналізу даних<br>Обмежена ємність і велика вага елементів живлення<br>Екологічна небезпека при використанні УМО (легкий аерозоль |
| **Можливості** | **Загрози** |
| Підвищення коефіцієнт використання техніки<br>Модернізація програмного забезпечення (адаптація для потреб систем точного землеробства)<br>Багатоцільове використання (обприскування, моніторинг, охорона, логістика) | Законодавча база (обмеження)<br>Пошкодження БПЛА птахами, гілками дерев, вандальними діями<br>Розчини та пил сприяють виходу з ладу електричного обладнання<br>Відхилення від траєкторії польоту під дією поривів вітру |

Вважаємо, що досягти поставленої мети можливо за рахунок симбіозу МТА та літальних систем. Для реалізації поставленої мети необхідно формалізувати обов’язкові та додаткові компоненти польотної частини оприскувача. Прийнято вважати, що структура БПЛА складається з наступних компонентів [17]:

- обов’язкові компоненти
  - рама
  - польотний контролер (гіроскоп, акселерометр, компас, барометр, сонар)
  - апаратура радіокерування (форматування та перетворення сигналів, вбудована телеметрія)
  - антени
  - двигуни
  - повітряні гвинти
  - регулятори обертів
  - батарея та зарядний пристрій
  - джерело бортового живлення (індикатор заряду)
- додаткові компоненти
  - обладнання для відео каналу (відеокамера, відео комутатор, підвіс для стабілізації, приймачі відеосигналу)
  - приймачі GPS (принцип визначення координат, режими старту, технології позиціонування та ін.)
  - адаптер Bluetooth
  - засоби пошуку
  - дисплеї та індикатори

Повна комплектація БПЛА відповідної потужності буде мати максимальну вартість, що збільшує його комерційну вартість та підвищує експлуатаційні витрати. У попередній роботі [6] авторським колективом запропоновано перенести елементи живлення та систему керування на зовнішній мобільний засіб – машино-тракторний агрегат (МТА), що дозволить поліпшити знизити показники та поліпшити експлуатаційні характеристики, але зменшить діапазон задач. Останній показник при певному підході може виявитись і перевагою у виробництві спеціалізованих БПЛА. Отже, якщо обмежити автономність БПЛА, шляхом перенесення частини функціоналу на МТА, то БПЛА буде складатись з таких основних компонентів:

- рама (конструкція обумовлена економічними, технологічними та агрономічними показниками);
- двигуни (як правило колекторні або безколекторні двигуни постійного струму, вибір яких обумовлений їх вагою, механічною характеристикою, значенням обертів на вольт напруги, габаритами та характером живлення, а також підшипників);
- пропелери (крок гвинта, діаметр гвинта);
- польотний контролер з обмеженим функціоналом (система моніторингу параметрів технологічного процесу обприскування, положення та руху рухомої рами обприскувача).

Вважаємо що найбільш складною задачею у синтезі МТА та обприскувача на основі БПЛА є обґрунтування вибору двигуна. Двигуни для дронів, переважно, двигуни постійного струму (ДПС), і поділяються на два типи: колекторні, безколекторні.

Колекторні двигуни використовуються в основному на слабких дронах початкового рівня і для знімальних квадрокоптера початкового рівня. Справа в тому, що вони не можуть розвивати значні обороти і потужність, а це значить, у них буде маленька підйомна сила. Вони більш громіздкі і більш схильні до поломок, так як у таких моторів більше деталей, що труться.

Безколекторні двигуни використовуються на гоночних і професійних дронів. Відрізняються величезними потужностями, значними оборотами і тягою. Такі двигуни більш компактні, по вазі приблизно такі ж, мають довговічність за рахунок мінімуму рухомих частин, та й ті на підшипниках.

У загальному вигляді швидкість обертання ДПС визначається з виразу [18];

$$n = \frac{U - I_a \cdot \sum R}{C_e \cdot \Phi} = n_0 - \Delta n, \qquad (1)$$

де U – напруга живлення двигуна, В;

Ф – головний магнітний потік, Вб;
$I_a$ – струм якоря, А;
$C_e$ - електромагнітна стала двигуна;
$\sum R$ - сумарний опір обмотки якоря, Ом.

За даним виразом можна визначити основні напрями керування швидкістю обертання двигуна у широких межах. Якщо розглядати ДПС як привід повнофункційного дрону, то його керованість переважає над експлуатаційними недоліками. У свою чергу, у випадку обмеженого функціоналу, з урахуванням зниження вартості елементів силової електроніки та нових алгоритмів керування електричними машинами, ми вважаємо, що доцільно розглянути в якості приводів пропелерів дронів асинхронні двигуни АД з короткозамкненим ротором. Це дозволить використати експлуатаційну надійність АД для забезпечення надійної роботи дронів з обмеженим функціоналом в умовах сільського господарства. У загальному вигляді синхронна швидкість обертання асинхронного двигуна змінного струму визначається з виразу [18]

$$n = \frac{60 \cdot f}{p}, \qquad (2)$$

де $f$ – частота напруги живлення, Гц;

р – кількість пар полюсів.

З урахуванням механічних втрат та навантаження на вал асинхронного двигуна фактична швидкість обертання буде відрізнятись від синхронної (2) за біль складним законом. У зв'язку з цим, виникає завдання дослідження роботи АД при живленні від електричної мережі високої частоти у тривалому режимі, а також порівняти енергетичні характеристики ДПС та АД за різними потужностями з урахуванням ймовірної ваги обладнання для обприскування. При оцінці загальної вартості слід врахувати, що збільшення струму або кількості двигунів призводять до збільшення вартості та ваги лінії зв'язку (збільшується перетин проводів або загальна довжина проводів на рамі).

**Висновок.** У результаті проведеного аналізу джерел інформації, в умовах садівництва доцільно виконати синтез штангового обприскувача, елементів малої авіації та БПЛА. Даний напрям дозволить підвищити ефективність обробки садів за рахунок зменшення витрат на обробку (підвищується швидкість робіт, знижуються вимоги до дисперсності робочого розчину, підвищується надійність обладнання) та підвищення якості обробки (збільшення глибини проникнення аерозолю, зменшення виносу робочого розчину вітром).

Результати роботи дозволять підвищити корисну вагу дрону, збільшити час роботи та ефективність використання у садівництві та виноградарстві. Перелічене стає можливим за рахунок збільшення ширини захвату, підвищення швидкості обробки та глибини проникнення робочих розчинів у крону дерева або кущ. Це знижує витрати на паливо-мастильні матеріали, підвищить якість та швидкість обробки, знизить вимоги до швидкості вітру під час обприскування. Для синтезу такого технічного комплексу потрібно вирішити такі питання:

– обґрунтування конструкції та вибір електросилового устаткування (рама, гідравлічна арматура, двигуни, розподільні пристрої, датчики, формалізація системи керування);

– визначення основних параметрів, від яких залежатиме процес використання робочого розчину при обробці культури та вплив факторів оточуючого середовища;

– дослідження роботи асинхронного двигуна при живленні від електричної мережі високої частоти у тривалому режимі;

– визначення та співвідношення економічної та якісної

складових практичного використання комплексу.

Кінцеві результати можуть бути використані при обприскування садів, виноградників, кукурудзи, соняшнику та інших культур, а також лягти в основу інших галузевих рішень.

**Список використаних джерел**

1. Витрати підприємств на виробництво продукції сільського господарства. Державна служба статистики. 2018. URL: http://ukrstat.gov.ua (дата звернення 2019 рік)

2. «Нам сверху видно все» Отчет PwC о коммерческом применении беспилотных летательных аппаратов в мире. URL www.dronepoweredsolutions.com

3. *Лисенко В. П., Лендєл Т. І.* Алгоритм формування стратегій керування процесом вирощування рослин у теплиці з урахуванням їх стану. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2018. С. 118-124

4. *Зубарев Ю. Н., Фомин Д. С., Чащин А. Н., Заболотнова М. В.* Использование беспилотных летательных аппаратов в сельском хозяйстве. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*, 2019. №2. С. 47-51. doi:10.7242/2658-705X/2019.2.5

5. *Alla Achasova*. Ефективне використання дронів у сільському господарстві: що необхідно? 2015. URL: http://www.50northspatial.org/ua/drones-agriculture-issues/ (дата звернення 2019 рік)

6. *Kashkarov A., Diordiiev V., Sabo A., Novikov G.* Semiautonomous dron for agriculture on the tractor base. *Acta Technologica Agriculturae*. 2018. №4. PP. 152-155. DOI: 10.2478/ata-2018-0027

7. *Алексей Бойко*. Проблемы и опасности, связанные с беспилотниками. Инциденты. 2017. URL: http://robotrends.ru/robopedia/problemy-i-opasnosti-svyazannye-s-bespilotnikami.-incidenty

8. *Jeremy Jensen.* Agricultural Drones: How Drones Are Revolutionizing Agriculture and How to Break into this Booming Market. UAV COACH18 April 2019. URL: https://uavcoach.com/agricultural-drones (Last accessed: 2019)

9. J*ames M. Brady, M. Dale Stokes, Jim Bonnardel, Timothy H. Bertram*. Characterization of a Quadrotor Unmanned Aircraft System for Aerosol-Particle-Concentration Measurements. *Environmental Science & Technology*. 2016. 50 (3). PP 1376–1383. DOI: 10.1021/acs.est.5b05320

10. *Juan Jesús Roldán, Pablo Garcia-Aunon, Mario Garzón, Jorge de León, Jaime del Cerro, Antonio Barrientos.* Heterogeneous Multi-Robot System for Mapping Environmental Variables of Greenhouses. *Sensors*.

2016, 16. 1018 DOI: 10.3390/s16071018

11. *Francisca López-Granados, Jorge Torres-Sánchez, Ana-Isabel De Castro, Angélica Serrano-Pérez, Francisco-Javier Mesas-Carrascosa, José-Manuel Peña*. Object-based early monitoring of a grass weed in a grass crop using high resolution UAV imagery. *Agronomy for Sustainable Development* . 2016. №36: 67. DOI: 10.1007/s13593-016-0405-7

12. *He Xiongkui, Bonds Jane, Herbst Andreas, Langenakens Jan*. Recent development of unmanned aerial vehicle for plant protection in East Asia. *International journal of agricultural and biological engineering*. 2017. №10. 3. pp 18-30. DOI: 10.3965/j.ijabe.20171003.3248

13. *Канатников А. Н., Акопян К. Р.* Управление плоским движением квадрокоптера. Математика и математическое моделирование. *МГТУ им. Н.Э. Баумана.* Электрон.журн. 2015. №2. С. 23-36 DOI: 10.7463/mathm.0215.0789477

14. *Гэн К., Чулин Н. А.* Алгоритмы стабилизации для автоматического управления траекторным движением квадрокоптера. *Наука и образование МГТУ им. Н.Э.Баумана*. Электрон.журн. 2015. №5. С. 218-235 DOI: 10.7463/0515.0771076

15. Yamaha представила сельскохозяйственный дрон. 2015. URL: https://robo-hunter.com/news/yamaha-predstavila-selskohozyaistvennii-dron (дата звернення 2019 рік)

16. Инновационные перспективы внесения СЗР. 2019. URL: https://smartfarming.ua/ru-blog/innovatsijni-perspektivi-vnesennya-zzr (дата звернення 2019 рік)

17. *Яценко В.С.* Твой первый квадрокоптер: теория и практика. СПб.: БХВ-Петербург, 2016. 256 с.

18. Куценко Ю. М., Яковлев В. Ф., Смуригін В. М., Ковальов О. В., Вужицький А. В. Електричні машини і апарати: навчальний посібник. К.: Аграрна освіта, 2013. 449 с.

## ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРОНОВ В ЗАДАЧАХ ОПРЫСКИВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Диордиев В.Т., Кашкарёв А.А., Семендяев А.Е.

**Аннотация** - в статье идет речь о проблемах использования дронов для опрыскивания сельскохозяйственных культур, а именно садов и виноградников. Обоснована актуальность направления и область применения в указанной сфере. Использованы статистические данные отрасли в Украине. На основе обзора научных и научно-популярных изданий по вопросам использования современных гражданских беспилотных летательных аппаратов, были определены сильные и слабые стороны, а также возможности и угрозы их применения. С целью преодоления указанных проблем использования дронов, предложенна концепция

полуавтономного дрона с ограниченным функционалом. Рассмотрены основные функциональные элементы современных дронов. Акцентировано внимание на использовании асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором для привода воздушных винтов . Проставлены задачи дальнейшей работы.

**Ключевые слова:** опрыскивание, беспилотный летательный аппарат, дрон, сельское хозяйство, садоводство.

## PROBLEMS OF DRONE USE IN SPRAYING AGRICULTURAL CROPS AND WAYS OF THEIR SOLUTION

V. Diordiiev, A. Kashkarov, A. Semendiaiev

### Summary

The article deals with the problems of using drones for spraying crops, namely orchards and vineyards. The relevance of the direction and scope in this area are justified. Industry statistic data of Ukraine are used. Based on a review of scientific and popular science publications on the use of modern civil unmanned aerial vehicles, strengths and weaknesses were identified, as well as the opportunities and threats of their use. In order to overcome these problems with the use of drones, the concept of a semi-autonomous drone with limited functionality is proposed.

As a result of the analysis of information sources, in the conditions of gardening, it is advisable to carry out the synthesis of a boom sprayer, elements of small aviation and UAVs. This direction will increase the efficiency of processing gardens by reducing processing costs (increasing the speed of work, lowering the requirements for dispersion of the working solution, increasing the reliability of the equipment) and improving the quality of processing (increasing the depth of aerosol penetration, reducing the removal of working solution by the wind). Attention is focused on the use of squirrel-cage induction motors for driving propellers from a high-frequency power source.

The results of the work will increase the useful weight of the drone, increase the operating time and efficiency of use in horticulture and viticulture. The above becomes possible by increasing the width of the grip, increasing the processing speed and the depth of penetration of working solutions into the crown of a tree or bush. This will reduce the cost of fuels and lubricants, increase the quality and speed of processing, reduce the requirements for weather conditions for work. Tasks for further work:

- justification of the design and selection of electric power equipment (frame, hydraulic fittings, motors, switchgears, sensors, formalization of the control system);
- determination of the main parameters on which the process of using the working solution in processing the culture and the influence of environmental factors will depend;
- study of the operation of an induction motor when powered by a high frequency network in continuous mode;
- definition and correlation of economic and qualitative components of the practical use of the complex.

The final results can be used when spraying orchards, vineyards, corn, sunflowers and other crops, as well as form the basis of other industry solutions.

**Key words:** spraying, unmanned aerial vehicle, drone, agriculture, gardening.

**УДК 620.92** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-46**

# РАЗВИТИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

**Вороновский И. Б., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0003-2489-6481**
*Таврический государственный аграрный университет*
E-mail: voronovskyigor@gmail.com

***Аннотация*** – рассмотрена проблема поиска альтернативных возобновляемых источников энергии. Показаны основные тенденции влияния современной энергетики на окружающую среду. Произведен анализ современного энергетического баланса мира. Указаны основные этапы развития энергетической отрасли. Отмечены страны-лидеры в области альтернативной энергетики. Обозначены положительные и отрицательные стороны применения альтернативных источников энергии. Рассмотрена Европейская программа развития энергетики на возобновляемых источниках энергии, приведены некоторые достижения в области альтернативной энергетики высокоразвитых стран, в частности энергетическая политика Швейцарии. Выделены основные идеи и изобретения ученых, в которых находится ключ к настоящей энергетической независимости всех людей на Земле.

Начало эры безтопливной энергетики относят к 1892 году, когда Никола Тесла изобрел резонансный трансформатор и получил на выходе многократно превышающую входную энергию. Указаны причины умалчивания данного факта. Очерчены перспективы использования альтернативных источников энергии.

***Ключевые слова:*** эфир, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, ветровая энергетика, свободная энергия, альтернативный источник.

**Постановка проблемы.** Степень развития техники и технологии, уровень жизни в любой стране непосредственно связаны с количеством потребляемой энергии. Мы находимся в критическом положении, потому что объем промышленного загрязнения и количество радиоактивных отходов уже превысили возможности самоочищения Земли. Мировые запасы нефти и газа будут истощены к 2025 году при сохранении нынешних темпов потребления. Но крупные корпорации и мировые правительства отказываются признавать надвигающийся кризис и сопротивляются техническому прогрессу, стараясь сохранить устаревшую политическую систему.

**Анализ последних исследований.** Производство альтернативной энергии, и переход на возобновляемые ресурсы, такие как ветер, солнце, геотермальная энергия, энергия водных потоков и другие, первоочередная задача для всех стран.

**Постановка задачи.** Объектом исследования являются структурные сдвиги внутри современного мирового энергетического комплекса за счет альтернативной энергетики. В основе

© Вороновский И. Б.

методологической базы исследования лежат общепринятые принципы познания экономических явлений (диалектический, конкретно-исторический, анализ, синтез, дедукция).

**Основная часть.** Энергетика является одним из базовых элементов экономического развития. В структуре себестоимости продукции расходы на энергоресурсы составляют от 5 до 40 %. Но, к сожалению, в нынешнее время мы сталкиваемся с проблемой энергетического кризиса, который влечет за собой ряд других экологических и экономических проблем. На протяжении многих лет использование различных видов энергии в мире увеличивается стремительными темпами. Этапы развития энергетической отрасли представлены на рис. 1.

Резкий скачок цен на энергоносители в начале XXI века объясняется ограниченностью запасов ископаемого топлива. Таким образом, возрастает роль использования альтернативных и возобновляемых источников энергии.

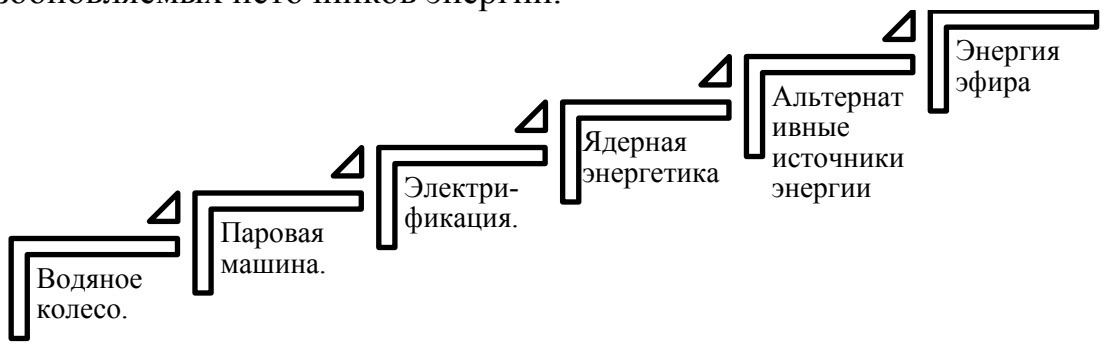



Рис. 1. Развитие энергетики

Так, например, Великобритания в основном сосредоточена на использовании природного газа. На ее территории его добывают в большом количестве. Канада является мировым лидером по производству гидравлической энергии. Франция использует атомные станции. Она мало обеспечена первичными топливными ресурсами, поэтому у нее возникает необходимость компенсировать этот недостаток. Сходной выглядит ситуация с энергобалансом Японии. Китай обеспечивает свои потребности в энергии в основном за счет угля. На нефть и газ приходится только 30% в общем балансе. Что касается Польши, то здесь на первом месте по использованию также уголь. Это связано с дешевизной его добычи на территории страны.

На рубеже XXI-го века энергетический баланс мира складывался следующим образом:

- ✓ ископаемые топлива - 85 %
- ✓ атомная энергия - 6 % (всего в мире на 2017 год насчитывается 447 действующих ядерных реакторов различных

типов, которые вырабатывают – 391386 МВт. Еще 60 реакторов находятся в разной стадии строительства, что добавит 64500 МВт);

- ✓ возобновляемые источники энергии - 8 %.

Ежегодный экономический ущерб от сжигания ископаемых топлив в мире оценивается экспертами в 1700 млрд. дол. США.

В Швейцарии на референдуме по энергетической реформе победили сторонники отказа от атомных электростанций (АЭС) в пользу перехода на возобновляемые источники энергии. В Швейцарии принят новый закон по энергетической стратегии до 2050 года, отказ от строительства новых АЭС, а также закроются пять существующих. Энергетическая реформа предусматривает переход на возобновляемые источники энергии, включая гидроэлектростанции, ветрогенераторы и солнечные установки.

В Германии с 2004 года ведется демонтаж АЭС. Для страхования энергоконцернов от банкротства создан общественно-правовой фонд. В него энергоконцерны должны передать деньги, собранные на захоронение ядерных отходов. На ликвидацию АЭС стране потребуется от 44 до 60 миллиардов евро. Германия считается лидером в производстве электричества из возобновляемых источников. Во многом ее энергетика является своеобразным полигоном для выработки перспективных моделей. Установленная мощность ее ветровой и солнечной генерации составляет 80 ГВт. 40 процентов мощностей принадлежит частным лицам, около 10 – фермерам. И только половина – компаниям и государству. Каждый двенадцатый гражданин Германии является собственником альтернативной энергетической установки.

К 2020 г. европейские страны планируют обеспечить экологически чистое теплоснабжение 70% жилищного фонда. Также страны ЕС намерены к 2020 г. на 50 % обеспечиваться энергией за счет возобновляемых источников.

В настоящее время распространены виды такой энергии:

- ✓ солнечная;
- ✓ геотермальная (используется в 65 странах, суммарная мощность ГеоЭС мира к 2017 году достигла 20300 МВт);
- ✓ ветровая;
- ✓ энергия морских приливов и отливов.

В общем доля альтернативной энергетики в общем объеме производства электроэнергии в Украине, составляет всего около 1,2%. Странами-лидерами в развитии производства энергии из нетрадиционных источников являются: Исландия (25% приходится на долю ВИЭ, в основном используется энергия геотермальных источников), Дания (20.6%, основной источник-энергия ветра), Португалия (18%, основные источники-энергия волн, солнца и ветра),

Испания (17.7%, основной источник-солнечная энергия) и Новая Зеландия (15.1%, в основном используется энергия геотермальных источников и ветра)[1].

У Японии стоит задача – достичь к 2020 году 28ГВт и к 2030 – 53 ГВт установленных солнечных модулей. Но самая развивающаяся страна на рынке солнечной энергетики в мире - Германия, политика которой направлена на поощрение внедрения потребителями источников солнечной энергии.

Геотермальная энергия используется в 62 странах, суммарная мощность ГеоЭС мира в 2017 году достигнет 21300 МВт.

В одном из прогнозных сценариев развития мировой энергетики утверждается, что уже к 2020 г. за счет ВИЭ может быть удовлетворено до 20 % всех мировых потребностей в коммерческой энергии. Этот показатель может достичь 50 %, тогда как в настоящее время за счет возобновляемых источников энергии (ВИЭ) покрывается примерно 2% мировых потребностей в первичных энергоресурсах. Вполне естественно, что эти оценки должны рассматриваться лишь с точки зрения возможностей ВИЭ, а не как прогноз развития. Тем не менее они свидетельствуют об огромном потенциале ВИЭ [2]. Рассмотрим альтернативную энергетику с точки зрения ее альтернативности (рис. 2).

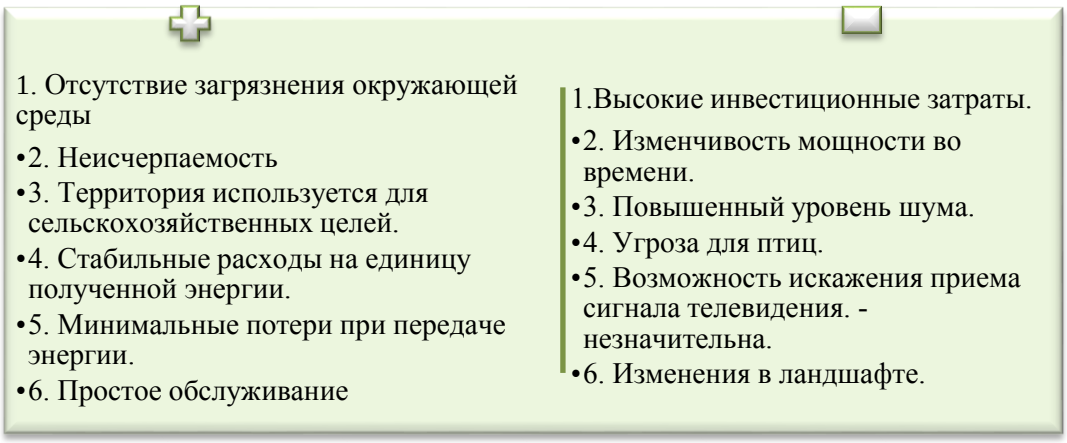



Рис. 2. Энергия ветра, плюсы и минусы

Выработка электроэнергии при помощи ветряков никаким планам не поддается, поскольку она зависит от силы ветра, управлять которым человечество еще не научилось.

Электроэнергия – такой продукт, которую хранить в масштабах, необходимых для энергосистемы целой страны, невозможно. Ее нужно потреблять сразу же после «изготовления». И это создает для энергетиков большие сложности, поскольку электропотребление в течение суток, дней недели и времени года, существенно колеблется, а энергосистема очень инерционна.

Поэтому в комплекте с ветроэлектростанциями должны быть источники на традиционных энергоносителях, но с малой инерционностью. Такими являются газовые турбины, но стоимость их высока и КПД ниже, чем у традиционных котловых установок.

Солнечные электростанции производят малое воздействие на окружающую среду во время эксплуатации и большое воздействие на этапе создания системы (рис. 3).

| Преимущества | Недостатки |
|---|---|
| •1. Возобновляемость<br>•2. Обильность<br>•3. Постоянство<br>•4. Доступность<br>•5. Экологическая чистота<br>•6. Бесшумность<br>•7. Экономичность, низкие эксплуатационные расходы<br>•8. Обширная область применения<br>•9. Инновационные технологии | •1. Высокая стоимость<br>•2. Непостоянство<br>•3. Высокая стоимость аккумулирования энергии<br>•4. Незначительное загрязнение окружающей среды<br>•5. Применение дорогостоящих и редких компонентов<br>•6. Малая плотность мощности |

Рис. 3. Энергия солнца, плюсы и минусы

На основании типа использования солнечной энергии, ее можно разделить на два класса - активную и пассивную. Первая - использование солнечных батарей и фотоэлементов для улавливания и преобразования энергии солнца в другие формы энергии. Вторая, уменьшает зависимости от альтернативных источников энергии, и вместо этого, напрямую, использует свет и тепло Солнца.

С каждым годом технологии в сфере производства солнечных батарей становятся все более совершенными - тонкопленочные модули вводятся непосредственно в строительные материалы еще на этапе возведения сооружений. Японский концерн Sharp - лидер в производстве солнечных панелей, недавно внедрил инновационную систему прозрачных накопительных элементов для оконного остекления. Современные достижения в области нанотехнологий и квантовой физики позволяют говорить о возможном увеличении мощности солнечных панелей в 3 раза.

Российские ученые изобрели новый альтернативный источник энергии - звездную батарею. Основными элементами этого устройства являются гетероэлектрический конденсатор и гетероэлектрический фотоэлемент, что дает значительные преимущества по сравнению с солнечными батареями современности.

Звездная батарея может функционировать при отсутствии солнечного света, улавливая даже инфракрасное излучение. При преобразовании видимого света эффективность устройства составляет

54 процента, инфракрасного излучения — 31 процент. При этом в звездной батарее фототок в четыре раза выше, чем в солнечной, а масса на один ватт практически в 1000 раз меньше, что довольно немаловажно для снижения себестоимости батареи в случае ее промышленного выпуска.

Энергетический потенциал данных источников энергии огромен, однако сейчас их широкое использование связано со значительными техническими трудностями и экономическими ограничениями, массовое их распространение возможно лишь по мере удешевления научно-технических решений в данных областях [3].

В научной среде появляются ученые-пионеры, физики-теоретики, а также изобретатели-энтузиасты, которые пытаются изменить наш взгляд на обуздание невидимых сил природы. Несмотря на насмешки, недостаток средств и активные попытки избавиться от этих людей и их работ, они вступили в борьбу с общепринятыми устаревшими догмами, пытаясь в жестокой схватке с глобальными корпорациями совершить революцию в науке.

В их изобретениях находится ключ к настоящей энергетической независимости всех людей на Земле: начиная от Николы Теслы и заканчивая технологией холодного синтеза, и не только. Действующие альтернативные источники энергии:

1. Никола Тесла – безтопливные двигатели;
2. Ж. Марсоля (французский изобретатель) – молекулярный двигатель внутреннего сгорания (должен был работать на воде, сурьме и цинке);
3. Р. Дизель – альтернативный двигатель внутреннего сгорания,
4. Свит Флойд (1990 г) – вакуумный триодный усилитель-производитель электрического тока;
5. И. С. Филимоненко – гидролизная установка термоэмиссии (установка использовала свойство воды, называемое паролиз, послужила разработке реактора холодного ядерного синтеза);
6. Стефан Маринов – электрический двигатель нового типа (на основе разработок Г. В. Николаева по скалярному магнитному полю). Данный двигатель по своему параметру напоминает засекреченный «Тестатик» Пауля Бауманна, который работает в швейцарском городке Линден близ Берна;
7. Джона Серла – левитирующие диски;
8. С. Годин и В. Рощин – генератор свободной энергии;
9. Р. Ф. Авраменко – "бластер"-генератор плазменного "жгута", источником мощности которого служит вакуум (эфир);
10. Н. Е. Заев – способ преобразования тепловой энергии ферритов в электрическую. Конверсия рассеянного тепла

окружающей среды, дает теоретические предпосылки для безтопливных энергосистем;

11. Ричард Клем – конический безтопливный двигатель;
12. Б. В. Болотов – парафиновый электростатический источник;
13. В. И. Балабай, Ю. В. Иванько, А. П. Сечкин, В. В. Шаповаленко – способ генерации электрического потенциала в статических магнитных полях и устройство для его реализации;
14. Институт ядерных исследований (г. Дубна, Подмосковье) – звёздная батарея (их изобретения построены на основании законов природы: это вращение планет в Солнечной системе, расширение Вселенной, модель атома Н. Бора и Э. Резерфорда). Вечный двигатель — это не фантастика, раз это не противоречит законам реальной физики, которую мы наблюдаем каждый день, а не ту несостоятельную теорию «авторитетов» науки.

Начало эры безтопливной энергетики относят к 1892 году, когда Никола Тесла изобрел резонансный трансформатор, и получил на выходе многократно превышающую входную энергию. Причины умалчивания данного факта заключаются в следующем:

- ✓ страх изобретателей;
- ✓ мысль о невозможности существования подобных устройств;
- ✓ подрыв мировой экономики и смена ценностей;
- ✓ человечество не готово принять «эфирную» энергию;
- ✓ имеет место противодействие различных монополий - нефтяных, газовых, лесных и прочих.

Проблема уже созданных альтернативных источников энергии не исчерпывается вышеуказанными примерами. И несмотря на противодействие транснациональных монополий по внедрению новых разработок, прогресс науки остановить невозможно [4].

Мы живем в огромном океане энергии. Все: каждый атом, каждая элементарная частица находится в постоянном движении, всегда вращается, даже в холодном темном пустом пространстве - абсолютном вакууме. Это то, что современная физика называет квантовым потоком вакуума. Древние называли его эфиром, метафизика - энергией жизненной силы. Теперь это доказано как теоретически, так и математически. Уже не стоит вопрос о том, существует ли энергия нулевой точки.

Энергия - это способность электромагнитного поля вселенной реагировать, ревакцинировать и перераспределять результаты всех взаимодействий до нулевого потенциала или равновесного состояния. Природа все восстанавливает.

**Выводы.** Энергия существует вокруг нас, но независимо от нас. Мы ее не можем получать и не можем уничтожать. Она гармонично вошла в этот мир при его сотворении. Человеку дано право только

переводить энергию из одного вида в другой, но общая сумма энергии в мире при этом не меняется. За последние 100 лет всё чаще поднимается вопрос о создании устройств, использующих альтернативные источники энергии (по принципу вечного двигателя). Показательно проводятся всевозможные конференции, но массового внедрения подобных устройств нет.

Таким образом, получение свободной энергии становится актуальным, ведь природные ресурсы не безграничны, а старые технологии недостаточно экономичны. Самоучки пытаются создать генераторы своими руками. Ученые создают базу для научного обоснования опытов и точных расчетов технических параметров. Нам необходимо изменить свои взгляды на окружающий нас мир.

**Список использованных источников**

1. Экология и энергетика – решение проблем в использовании возобновляемых источников энергии / *В. Ф. Каблов* и др. *Энергоэффективность Волгоградской области.* 2007. № 2. С. 40-42.

2. Прогноз развития энергетики мира и России до 2035 года: / *А. А. Макаров* и др. Москва: ИНЭИ РАН: РЭА, 2012. 96 с.

3. *Сысоев А. М., Ашмарина Т. И.* Инновации в процессе воспроизводства сельскохозяйственной техники: монография. Мелитополь, 2013. 180 с.

4. *Ашмарина Т. И.* Развитие технологий в экономике аграрного природопользования. *Экономика сельского хозяйства России.* 2017. № 10. С. 46-50.

## РОЗВИТОК АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

**Вороновський І. Б.**

***Анотація*** **–** розглянуто проблему пошуку альтернативних поновлюваних джерел енергії (ПДЕ). Показані основні тенденції впливу сучасної енергетики на навколишнє середовище. Зроблено аналіз сучасного енергетичного балансу світу. Вказані основні етапи розвитку енергетичної галузі. Позначено країни-лідери в галузі альтернативної енергетики. Позначені позитивні і негативні сторони застосування ПДЕ. Розглянуто Європейську програму розвитку енергетики для ПДЕ, наведені деякі досягнення в галузі альтернативної енергетики розвинених країн, зокрема енергетична політика Швейцарії. Виділено основні ідеї та винаходи, вчених в яких знаходиться ключ до енергетичної незалежності.

В одному з прогнозних сценаріїв розвитку світової енергетики стверджується, що вже до 2020 р за рахунок ПДЕ може бути задоволено до 20% всіх світових потреб в комерційній енергії. Цей показник може досягти 50%, тоді як в даний час за рахунок ПДЕ покривається приблизно 2% світових потреб в первинних енергоресурсах. Цілком природно, що ці оцінки повинні розглядатися лише з точки зору можливостей ПДЕ, а не як прогноз розвитку. Проте вони свідчать про величезний потенціал ПДЕ.

Ми живемо у величезному океані енергії. Все: кожен атом, кожна елементарна частинка знаходиться в постійному русі, завжди обертається, навіть в холодному темному порожньому просторі - абсолютному вакуумі. Це те, що сучасна фізика називає квантовим потоком вакууму. Древні називали його ефіром, метафізика - енергією життєвої сили. Тепер це доведено як теоретично, так і математично. Вже не стоїть питання про те, чи існує енергія нульової точки

Початок ери безпаливної енергетики відносять до 1892 році, коли Нікола Тесла винайшов резонансний трансформатор і отримав на виході багаторазово перевищену вхідну енергію. Вказані причини замовчування цього факту. Окреслено перспективи використання альтернативних джерел енергії.

**Ключові слова:** ефір, поновлювані джерела енергії, сонячна енергетика, вітрова енергетика, вільна енергія, альтернативне джерело.

## DEVELOPMENT OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

**I. Voronovsky**

***Summary***

The problem of searching for alternative renewable energy sources is considered. The main trends of the influence of modern energy on the environment are shown. The analysis of the modern energy balance of the world is made. The main stages of the development of the energy sector are indicated. Leading countries in the field of alternative energy are noted. Positive and negative aspects of the use of alternative energy sources are indicated. The European program for the development of energy on renewable energy sources is considered, some achievements in the field of alternative energy of highly developed countries, in particular the energy policy of Switzerland, are listed. The basic ideas and inventions, scientists in which the key to real energy independence of all people on the Earth is located, are singled out.

Energy is the ability of the electromagnetic field of the universe to react, revaccinate and redistribute the results of all interactions to zero potential or equilibrium state. In one of the projected scenarios for the development of the world energy, it is argued that by 2020 up to 20% of all world commercial energy needs can be met by RES. This figure can reach 50%, while currently about 2% of the world's primary energy needs are being covered by renewable energy sources (RES). It is only natural that these assessments should be considered only in terms of the potential of RES and not as a prognosis for development. However, they do testify to the enormous potential of RES.

We live in a vast ocean of energy. Everything: every atom, every elementary particle is in constant motion, always rotating, even in the cold dark empty space - absolute vacuum. This is what modern physics calls quantum vacuum flow. The ancients called it ether, metaphysics - the energy of the vital force. Now this is proven both theoretically and mathematically. The question is whether there is zero point energy

The beginning of the era of zero-fuel power is attributed to the year 1892, when Nikola Tesla invented the resonant transformer, and received output many times higher than the input energy. The reasons for not mentioning this fact are indicated. Prospects for the use of alternative energy sources are outlined.

***Key words**:* ether, renewable energy sources, solar energy, wind power, free energy, alternative source.

**УДК 621.373** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-47**

# РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ВЗАЄМОДІЇ РАДІОІМПУЛЬСІВ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ З РОСЛИННИМ СЕРЕДОВИЩЕМ КАРТОПЛІ

**Сілі І. І., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-6603-2174**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: ivan.sili@tsatu.edu.ua

***Анотація –*** наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період проходження імпульсів та їх тривалість, експозиція), які матимуть негативну пригноблюючу дію на колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі, необхідні теоретичні та математичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних випромінювань з комахами шкідниками картоплі. Основною характеристикою таких досліджень є розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі.

В попередніх дослідженнях було описано процес взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі, проведено аналіз можливості використання високостабільного по частоті діодного генератора для зовнішньої синхронізації потужних радіоімпульсних діодних джерел. Приведено результати розрахунку генератора імпульсної дії міліметрового діапазону, який формує імпульси заданої тривалості з необхідним рівнем потужності енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології та результати роботи по конструюванню синхронізуючого генератора на лавино-пролітних діодах для систем знищення шкідників картоплі, представлено конструкцію генератора у вигляді хвилевідно-штирьової моделі, на основі еквівалентної схеми обчислено параметри хвилевода та лавино-пролітного арсенід-галієвого діода типу 3А730А.

В даній роботі представлено подальший розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення шкідників картоплі та проведено розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень. На основі еквівалентної схеми визначено формули для розрахунку активної і реактивної складової опору *p-n* переходу діода, параметрів стабілізуючого резонатора, зокрема наведено формулу для розрахунку добротності резонатора, визначено вираз опору навантаження хвилеводу.

***Ключові слова*:** генератор НВЧ, лавинно-пролітний діод, НВЧ випромінювання, імпульсний генератор, суматор, потужність випромінювання.

© Сілі І. І.

**Постановка проблеми.** Наукові та практичні дослідження останніх років показують, що альтернативою хімічному методу захисту рослин може бути метод на основі екологічно безпечної і ефективної енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології [1,2]. Для визначення біотропних параметрів радіоімпульсного випромінювання (частота заповнення імпульсів, період проходження імпульсів та їх тривалість, експозиція), які матимуть негативну пригноблюючу дію на колорадського жука та його личинок у рослинному середовищі картоплі, необхідні теоретичні та математичні дослідження процесу взаємодії радіоімпульсних випромінювань з комахами шкідниками картоплі [3]. Основною характеристикою таких досліджень є розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі.

**Аналіз останніх досліджень.** В дослідженні [4] описано процес взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі та отримано рівняння усередненого значення електричного поля електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадським жуком.

В роботі [5] проведено аналіз можливості використання високостабільного по частоті діодного генератора для зовнішьої синхронізації потужних радіоімпульсних діодних джерел. Визначено, що стабілізація частоти в генераторі на безкорпусному лавинно-пролітному діоді здійснюється високодобротним циліндричним об'ємним резонатором прохідного типу. В результаті теоретичного аналізу в статті на основі еквівалентної схеми встановлені параметри безкорпусного діода, визначена величина зв'язку високодобротного циліндричного резонатора з хвилеводною системою генератора і її конструктивні параметри.

В роботі [6] приведено результати розрахунку генератора імпульсної дії міліметрового діапазону, який формує імпульси заданої тривалості з необхідним рівнем потужності енергоінформаційної радіоімпульсної біотехнології.

В роботі [7] приведені результати роботи по конструюванню синхронізуючого генератора на лавино-пролітних діодах для систем знищення шкідників картоплі та представлено конструкцію генератора у вигляді хвилевідно-штирьової моделі, на основі еквівалентної схеми обчислено параметри хвилевода та лавино-пролітного арсенід-галієвого діода типу 3А730А.

**Формулювання цілей статті.** В даній роботі пропонується продовжити розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення

шкідників картоплі та провести розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень, наведених в наукових роботах [1, 6 та 7].

**Основні матеріали дослідження.** Для визначення параметрів діода синхронізуючого генератора скористаємося методикою, наведеною в роботі [8] для режиму слабкого сигналу.

Спрощена еквівалентна схема ЛПД з урахуванням втрат в базі транзистора наведена на рис.1.

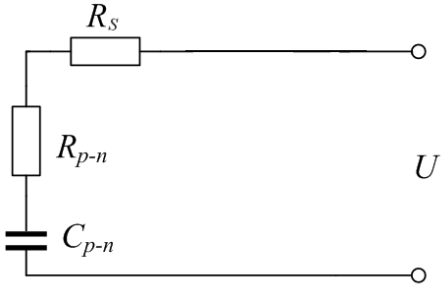



Рис. 1. Еквівалентна схема діода

Елементи в еквівалентній схемі мають наступне призначення: $C_{p-n}$ - ємність *p-n* переходу; $R_s$ - опір втрат у базі і контурах діода.

У режимі слабкого сигналу активна $R_{p\text{-}n}$ і реактивна $X_{p\text{-}n}$ складові опору *p-n* переходу діода визначаються наступними виразами [8]:

$$R_{p\text{-}n} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot (1-\frac{l_\delta}{l_w}) \cdot \frac{\beta_л^{\,2}}{1-\beta_л^{\,2}+\delta^2} \cdot [(1-\beta_л^{\,2}) \cdot \xi(\theta) - \delta \cdot \lambda(\theta)]; \quad (1)$$

$$X_{\text{p-n}} = -\frac{1}{\omega \cdot C_{p-n}} \cdot \{1+\frac{\beta_л^{\,2}}{(1-\beta_л^{\,2}) \cdot \delta} \cdot (1-\frac{l_\delta}{l_w}) \cdot [\delta \cdot \xi(\theta) + (1-\beta^2{}_л) \cdot \lambda(\theta)]\}, \quad (2)$$

де: $\tau_\delta$ – час прольоту носіями заряду шару множення;

$\nu$ – швидкість дрейфу носіїв;

$\theta$ – кут прольоту носіїв заряду;

$\tau$ – час прольоту носіїв заряду дрейфової області.

Розрахункові залежності опорів діода типу 3А760 наведені в табл. 1.

Для визначення параметрів стабілізуючого резонатора можливо використати наступні вирази [9]

$$L_p = \frac{\mu_0 h}{4\pi}, \quad (3)$$

де $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-9}$ Гн/см - магнітна проникність;

$h$ – висота резонатора.

Таблиця 1

**Розрахункові залежності параметрів ЛПД 3А730А для різних робочих струмів і частоти 20 ГГц**

| $I_0$, мА | 160 | 170 | 180 |
|---|---|---|---|
| $\beta_л^2$ | 0,63 | 0,67 | 0,71 |
| $R_{p\text{-}n}$, Ом | -2,94 | -2,56 | -2,0 |
| $X_{p\text{-}n}$, Ом | -70,4 | -76,16 | -83,2 |

Ємність $C_p$ визначається формулою [9]

$$C_p = \varepsilon_0 \frac{R^2}{(\mu_{ni})^2 h}, \quad (4)$$

де $\varepsilon_0 = 8{,}854 \cdot 10^{-14}$ Ф/см - діелектрична проникність;

$\mu_{ni} = 3{,}832$ – корінь функції Бесселя для хвилі $H_{011}$;

$R$ – радіус циліндричного резонатора.

Добротність резонатора $Q_p$ визначається [9]

$$Q_p = \frac{1}{\chi} \frac{R}{(1 + \frac{R}{h})}, \quad (5)$$

де $\sigma = 15{,}8 \cdot 10^6$ $1/\text{Ом} \cdot \text{м}$ – питома провідність латуні.

Зосереджена активна провідність резонатора $G$ [9]

$$G = \frac{\omega_0 \cdot C_p}{Q_p}, \quad (6)$$

Проведені розрахунки показали, що для резонатора з розмірами $R$ = 32 мм, $h$ = 7,5 мм, величина параметрів резонатора дорівнює: $C_p = 0{,}0845$ пФ, $L_p = 7{,}5$ нГн, $Q_p$ = 5400, $G$ = 0,235 $10^{-5}$ См.

Так як резонатор призначений для стабілізації частоти генератора, то в даному випадку зв'язок між резонатором і хвилеводною лінією $l_1$ здійснюється щілиною діаметром $\delta$ в нескінченно тонкій стінці. Елемент зв'язку являє собою шунтуючу індуктивність для хвилеводної системи генератора, відносна провідність якої визначається виразом [8]

$$\frac{B_u}{Y_0'} = \frac{\lambda}{\pi R} \cdot \frac{(4\pi \cdot R)^2}{\delta^2}, \quad (7)$$

де $a$ – ширина хвилеводної системи;

$\delta$ – діаметр елемента зв’язку.

З урахуванням того, що при резонансі реактивна провідність резонатора дорівнює нулю, то величина активної провідності резонатора $G'$ на частоті $\omega_0$, перерахована на кінець хвилеводної лінії $l_1$, буде визначатися з рівняння

$$G' = G \cdot \frac{Q_p}{Q_{вн}}, \qquad (8)$$

де $Q_{вн}$ – зовнішня добротність резонатора.

Проведений числовий аналіз показав, що для $\frac{Q_{вн}}{Q_p} = 0{,}5$ та $\delta = 2$ мм$^2$, $B_u = 1{,}24$ См, $G' = 0{,}47 \cdot 10^{-5}$ См, а опір навантаження на кінці лінії $l_1$ буде дорівнювати

$$R_{l1} = \frac{1}{G' - jB_u} = a_1 + jb_1 = (0{,}3 \cdot 10^{-5} + j0{,}81) \text{ Ом}. \qquad (9)$$

$$R_{l1} = (0{,}3 \cdot 10^{-5} + j0{,}81)$$

При реалізації на практиці припущення про малість втрат в високочастотному ланцюзі визначимо опір навантаження хвилеводу зліва і праворуч від прохідного резонатора. Зліва з боку резонатора опір навантаження хвилеводу визначається виразом

$$Z_{вх1} = \frac{a_1(1 + tg\beta l_1) + j[b_1 + (Z_0 - \frac{b_1^{\,2}}{Z_0} - \frac{a_1^{\,2}}{Z_0})tg\beta l_1 - b_1 tg^2 \beta l_1]}{1 - (2b_1 / Z_0)tg\beta l_1 + (1/Z^2{}_0)(b_1 + a_1)tg^2 \beta l_1}. \qquad (10)$$

На підставі еквівалентної схеми [4] опір в площині діода буде визначатися з рівняння

$$Z_d = R_{p-n} + j(-X_{p-n} + X_a - X_c)\ . \qquad (11)$$

З боку резонатора навантаження хвилеводу визначається виразом

$$Z_{вх2} = Z_0 \frac{\frac{Z_0}{Z_2} + j(\frac{Z_0^{\,2}}{Z_2} - 1)\cos\beta l_2 \cdot \sin\beta l_2}{\frac{Z_0^{\,2}}{Z_2^{\,2}}\cos^2\beta l_2 + \sin\beta l_2}. \qquad (12)$$

Оскільки навантаженням хвилеводної лінії праворуч від резонатора є електродинамічна система з шістьма діодами, то навантаження, створюване системою буде визначатися виразом

$$Z_2 = -R'_d / 6, \quad (13)$$

де $R'_d$ – активний опір корпускулярного діода 3А762.

**Висновок.** В даній роботі представлено подальший розгляд радіоімпульсної біотехнології знищення шкідників картоплі та проведено розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі на основі попередніх досліджень. На основі еквівалентної схеми визначено формули для розрахунку активної $R_{p\text{-}n}$ і реактивної $X_{p\text{-}n}$ складової опору *p-n* переходу діода, параметри стабілізуючого резонатора зокрема наведено формулу для розрахунку добротності резонатора, визначено вираз опору навантаження хвилеводу.

**Список використаних джерел**

1. *Сілі І. І.* Енергоінформаційна радіоімпульсна біотехнологія і електронні системи знищення шкідників картоплі : дис. … канд. техн. наук : 05.11.17. Харків, 2015. 159 с.

2. *Сили И. И.* Применение информационно-энергетических излучений для угнетения репродуктивной способности колорадского жука. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* Харків, 2015. С. 47-49.

3. *Сили И. И.* Теоретический анализ процесса взаимодействия радиоимпульсов с колорадскими жуками в растительной среде картофеля. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 4. С. 55-59.

4. *Сілі І. І.* Визначення параметрів електродинамічної моделі рослинного середовища картоплі з колорадським жуком. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК.* 2016. № 242. С. 256-261.

5. *Сілі І. І., Чєренков О. Д.* Параметри і стабільность частоти діодного генератора з резонатором прохідного типу. *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* 2015. № 9. С. 53-59.

6. *Сілі І. І.* Параметри імпульсного генератора на лавинно-пролітних діодах для знищення шкідників картоплі жуком. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. URL: http://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/45/14.

7. *Сілі І. І.* Розрахунок параметрів синхронізуючого генератора на лавинно-пролітних діодах. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 2. С. 222-228.

8. *Крылов Н. Н.* Теоретические основы радиотехники. Москва: Морской транспорт, 1961. 416 с.

9. *Лебедев И. В.* Техника и приборы СВЧ. Москва: Высшая школа, 1970. 440 с.

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РАДИОИМПУЛЬСОВ СВЧ ИЗЛУЧЕНИЯ С РАСТИТЕЛЬНОЙ СРЕДОЙ КАРТОФЕЛЯ

**Сили И. И.**

***Аннотация*** – научные и практические исследования последних лет показывают, что альтернативой химическому методу защиты растений может быть метод на основе экологически безопасной и эффективной энергоинформационной радиоимпульсной биотехнологии. Для определения биотропных параметров радиоимпульсного излучения (частота заполнения импульсов, период следования импульсов и их длительность, экспозиция), которые будут иметь отрицательное угнетающее действие на колорадского жука и его личинок в растительной среде картофеля, необходимы теоретические и математические исследования процесса взаимодействия радиоимпульсных излучений с насекомыми вредителями картофеля. Основной характеристикой таких исследований является расчет параметров взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля.

В предыдущих исследованиях было описано процесс взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля, проведен анализ возможности использования высокостабильного по частоте диодного генератора для внешней синхронизации мощных радиоимпульсных диодных источников. Приведены результаты расчета генератора импульсного действия миллиметрового диапазона, который формирует импульсы заданной длительности с необходимым уровнем мощности энергоинформационной радиоимпульсной биотехнологии и результаты работы по конструированию синхронизирующего генератора на лавинно-пролетных диодах для систем уничтожения вредителей картофеля, представлено конструкцию генератора в виде волноводно-штыревой модели, на основе эквивалентной схемы обчислено параметры волновода и лавинно-пролетного арсенид - галиевого диода типа 3А730А.

В данной работе представлено дальнейшее рассмотрение радиоимпульсной биотехнологии уничтожения вредителей картофеля и проведен расчет параметров взаимодействия радиоимпульсов СВЧ излучения с растительной средой картофеля на основе предыдущих исследований. На основе эквивалентной схемы определены формулы для расчета активной и реактивной составляющей сопротивления *p-n* перехода диода, параметров стабилизирующего резонатора, в

частности приведена формула для расчета добротности резонатора, определено выражение сопротивления нагрузки волновода.

***Ключевые слова:*** генератор СВЧ, лавинно-пролетный диод, СВЧ излучение, импульсный генератор, сумматор, мощность излучения.

# THE PARAMETERS CALCULATION OF INTERACTION BETWEEN RADIO-PULSED MICROWAVE RADIATION AND PLANT ENVIRONMENT OF POTATO

**I. Sili**

## Summary

Scientific and practical studies of recent years show that an alternative to the chemical method of plant protection could be a method based on environmentally safe and efficient energy-information radio-pulse biotechnology. To determine the biotropic parameters of radio pulse radiation (pulse filling frequency, pulse period and duration, exposure), which will have a negative effect on the Colorado potato beetle and its larvae in the potato plant environment, it is necessary to determine the interaction between radio pulse radiation and potato`s insect pests. The main characteristic of such studies is the calculation of the interaction parameters between radio pulses microwave radiation and the plant environment of potatoes.

In previous studies, the process of interaction of radio pulses of microwave radiation with the plant environment of potatoes was described, and the possibility of using a highly stable frequency diode generator for external synchronization of high-power radio pulse diode sources was analyzed. The results of the calculation of the pulse generator of the millimeter-wave range, which generates pulses of a specific duration with the required power level of the energy-information radio-pulse biotechnology, and the results of the design of the synchronizing generator on avalanche-span diodes for potato pest destruction systems, are presented. Based on the equivalent scheme, the parameters of the waveguide and avalanche-span gallium arsenide diode type 3A730A.

This paper presents a further consideration of radio-pulse biotechnology for the destruction of potato pests and calculates the parameters of the interaction between radio pulses microwave radiation and the potato plant environment based on previous studies. On the basis of the equivalent scheme, formulas for calculating the active and reactive component of the p–n junction resistance of the diode, parameters of the stabilizing resonator are determined, in particular, a formula is given for calculating the resonator Q factor, the expression for the waveguide load is determined.

**Keywords:** microwave generator, IMPATT diode, ultra-high frequency UHF radiation, pulse generator, an adder, radiation power

**УДК 621.311:631.115.1** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-48**

# РОЗВИТОК ОСОБИСТИХ СЕЛЯНСЬКИХ ГОСПОДАРСТВ: НЕЗАЛЕЖНІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Василенко О. О., к. т. н.,**
**Геліх А. О., інженер,**
**Філон А. М., інженер**
*Сумський національний аграрний університет*
e-mail: gelihsumy@gmail.com

***Анотація*** - визначено основні причини занепаду села в реаліях сьогодення. Вперше досліджено та проаналізовано шляхи доступу до енергетичних технологій в сільській місцевості, що дасть можливість зміцнити і підвищити економіку ОСГ та знизить або забезпечить повну незалежність від монополії енерговиробництва держави. Проведені дослідження дозволять пришвидшити вирішення цього питання та створення незалежних джерел електроенергії в сільській місцевості. Вперше визначено поняття незалежного джерела енергії для ОСГ та доступні джерела електроенергії. Досліджено технологічну можливість, технічну складність встановлення у ОСГ незалежних джерел електроенергії та сировину для їх функціонування. Проаналізовано, що незалежні джерела електроенергії вирішують питання ізольованих сільськогосподарських районів та територій з недостатньою напругою в силу технічних факторів. Вирішення енергозабезпечення ОСГ дає можливість розвитку антимонопольної системи в сфері електровиробництва України та створення бази для майбутніх досліджень в напрямку всебічного розвитку сільських територій.

***Ключові слова:*** особисті селянські господарства, незалежне джерело енергії, електровиробництво, енергозабезпечення.

**Постановка проблеми.** Основою функціонування держави є її спадщина, що визначається традиціями окремої нації з її моральними та релігійними цінностями. Життя України тісно пов’язане з селом, що безперечно є національним надбанням. Село – це окрема невіддільна частка культури, що потерпає від занепаду внаслідок тотальної урбанізації. Основними причинами занепаду є економічна несамостійність (відсутність постійних джерел доходу), небажання держави допомагати та неінформованість населення про стан села. В реаліях сьогодення для сільської економіки є лише один шлях до існування – самостійність.

Доступ до енергетичних технологій в сільській місцевості значно обмежений, що призвело до нестійкості економіки особистих селянських господарств (далі - ОСГ) та залежності від монополії енерговиробництва державою. Більша увага наукового світу до питання енергетичної незалежності ОСГ дозволить пришвидшити

© Василенко О. О., Геліх А. О., Філон А. М.

вирішення цього питання та створення незалежних джерел електроенергії в сільській місцевості. На ранньому етапі розвитку проекту необхідна всебічна підтримка наукової та політичної спільноти що дозволить отримати позитивні результати. Незалежні джерела електроенергії також вирішать питання ізольованих сільськогосподарських районів та районів з недостатньою напругою в силу технічних факторів.

Вирішення енергозабезпечення ОСГ дає можливість розвитку антимонопольної системи в сфері електровиробництва України та створення бази для майбутніх досліджень в напрямку всебічного розвитку сільських територій.

**Аналіз останніх досліджень.** Починаючи з 90-х років в Україні почались перші дослідження діяльності ОСГ [1]. З цього часу постійно йдуть дискусії в науковому світі щодо майбутнього розвитку ОСГ, але ніяких результатів досягнуто не було. Серед останніх дискусійних питань досліджених в цій сфері слід відмітити роботи за 2017 та 2018 роки. Вченими було досліджено теоретичні основи функціонування ОСГ [2], розвиток в умовах інституціональних змін [3] та адміністративної децентралізації [4]. Науковцями України проаналізовано соціально-економічний розвиток ОСГ станом на останні роки [5], теоретичні можливості трансформації ОСГ в підприємницькі структури [6] та агробізнесові господарства [7].

У зв’язку з тим, що витрати електроенергії як у виробництві так і для власних потреб ОСГ є значною статтею витрат господарства це питання потребує негайного вирішення, як з технологічно-фінансової так і з політичної точки зору. В роботах Українських вчених це питання досліджено не було. Серед зарубіжних наукових праць відстежується деякий зв’язок з Українською проблематикою енергонезалежності ОСГ. Серед технологічних та економічних чинників проводяться дослідження стану та переваг використання відновлюваних джерел енергії в сільській місцевості Ефіопії [8], економічна оцінка гібридних систем для побутового використання у Франції [9], проблеми енергетичної бідності в Південній Африці [10], техніко-економічне обґрунтування гібридної установки для сільської електрифікації у Франції [11]. Серед політичних чинників досліджуються субсидування відновлюваної енергії в Ірані [12], механізми державного регулювання використання відновлюваних джерел енергії в Туреччині [13], державні програми довготривалого розвитку та збільшення частки електроенергії, що виробляється відновлюваними джерелами енергії у Словаччині [14].

Нажаль, серед зарубіжних та вітчизняних досліджень не проводиться аналіз щодо невідновлюваних незалежних джерел

енергії, що можуть стати стартом для розуміння самого процесу індивідуальної електрифікації.

**Формулювання цілей статті.**

Завданням дослідження є створення у ОСГ незалежних джерел електроенергії використовуючи залучення наукових експертів та їх методики, власні кошти господарств та зовнішнього фінансування, що дозволить зменшити витрати на електроенергію та протидіяти впливу монополії електропостачання.

1. Визначення поняття незалежного джерела електроенергії для ОСГ.

2. Дослідити доступні для ОСГ джерела електроенергії.

3. Визначити технологічну можливість та технічна складність встановлення у ОСГ незалежних джерел електроенергії.

4. Визначити сировину доступну ОСГ для отримання та переробки теплової енергії в електроенергію.

5. Дослідити можливості незалежного джерела електроенергії у боротьбі з монополізацією енергоринку державою.

6. Визначити шляхи забезпечення ОСГ незалежним джерелом електроенергії індивідуально та групами.

**Основні матеріали дослідження.**

Основним фактором для визначення джерела електроенергії незалежним є його частка у енерговитратах ОСГ. Визначено що джерело енергії є незалежним у випадку, коли воно покриває більше 90% від загальних енерговитрат ОСГ.

На основі аналізу отриманих досліджень сформульовано визначення незалежного джерела електроенергії.

**Незалежне джерело електроенергії** – автономне, здатне забезпечити енергією, отриманою від відновлюваного, невідновлюваного або гібридного джерела електроенергії, індивідуальне домогосподарство, в тому числі особисте селянське господарство, або їх об’єднання для побутових чи виробничих цілей, з часткою не менше 90% від загальних енерговитрат. Якщо частка виробленої електроенергії менше 90% то таке джерело енергіє є **додатковим**.

Для розвитку ОСГ одним з найважливіших факторів є зменшення витрат на господарювання та виробництво товарної продукції на всіх етапах технологічного процесу, в тому числі тих, що включають затрати електроенергії. Зменшення електровитрат тісно пов’язано з джерелом отримання електроенергії.

Для всебічного дослідження оптимальних для ОСГ джерел електроенергії визначено їх загальний перелік, а саме:

- централізоване монопольне електропостачання;
- переробка теплової енергії;

- переробка сонячної енергії;
- переробка вітрової енергії;
- переробка водної енергії.

Основною з проблем встановлення незалежного джерела електроенергії є технологічна можливість та технічна складність. Умови, яким має відповідати ОСГ для встановлення певного джерела електроенергії наведено в табл.1.

Таблиця 1

**Доступні для ОСГ джерела електроенергії та умови їх впровадження та використання**

| **Назва джерела електропостачання** | **Технологічні умови** | |
|---|---|---|
| | *Наявність виробничого ресурсу* | *Технічна складність* |
| Централізоване | Проведена мережа електропостачання | Встановлюється постачальником |
| Переробка теплової енергії | Забезпеченість сировиною | Самостійне становлення |
| Переробка сонячної енергії | Доступ до незатінених ділянок | Встановлюється постачальником |
| Переробка вітряної енергії | Наявність високої середньорічної швидкості вітру | Самостійне становлення |
| Переробка водної енергії | Наявність водойми | Самостійне становлення |

У зв’язку з географічним розташуванням України для отримання теплової енергії з її подальшою переробкою в електроенергію суб’єктам ОСГ доступні такі ресурси:

- тверде паливо (дрова, торф, вугілля);
- природний газ;
- продукти нафтопереробки;
- рослинні олії та продукти їх переробки (біодизель);
- продукти переробки рослинних вуглеводів (біогаз).

В Україні гостро постала проблема з монополізацією ринку електроенергії. Створення незалежних джерел енергії в ОСГ є не тільки початком боротьби з монополією, але й плацдармом для майбутніх ідей і досліджень в масштабі міста та всієї країни. Основною перевагою використання незалежного джерела енергії, а саме переробки теплової енергії в електроенергію, в приватних господарствах, є зменшення кінцевої вартості продукції внаслідок того що виробник є кінцевим споживачем, а реалізація надлишків

відбувається в межах населеного пункту виробництва. Це призводить до відсутності ряду витрат на:

- транспортування;
- обслуговування транспортних мереж електропостачання;
- націнку на прибуток посередників та виробників;
- оплату праці персоналу електровиробничих підприємств;
- меншу вартість необхідних виробництву ресурсів, що пов'язана з географічною особливістю регіону (обираються найбільш доступні ресурси).

При використанні відновлюваних джерел енергії переваги в кінцевій вартості ще більш значимі, але встановлення та експлуатація таких систем потребують значних фінансових витрат, що недоступні ОСГ без втручання органів місцевого самоврядування, інвесторів або наукових проектів.

ОСГ на яких будуть встановлені незалежні джерела електроенергії з часом зможуть виробляти електроенергію на продаж, що не тільки стане однією зі статтєй прибутку приватного господарства, але й створить конкуренцію монополізатору і як наслідок призведе до зниження вартості на електроенергію в даному регіоні.

Впровадження незалежних джерел електроенергії в ОСГ та їх угрупуваннях є позитивним шляхом розвитку громади на що будуть витрачатися фінансові ресурси місцевих бюджетів.

Важливим фактором функціонування незалежних джерел електроенергіє в ОСГ є шляхи їх фінансування. Враховуючи позитивні наслідки їх впровадження кошти мають залучатися від органів місцевого самоврядування, інвесторів та наукових установ (грантові проекти відповідних наукових закладів).

Аналізуючи отримані теоретичні та практичні дані використання та отримання енергоресурсів ОСГ в Сумській області, створено алгоритм взаємодії суб'єктів впровадження незалежних джерел енергії на сільських територіях. Суб'єктами впровадження незалежних джерел електроенергії в Україні є: держава, органи місцевого самоврядування, науково-дослідні центри, вищі навчальні заклади, міські жителі що мають присадибні ділянки та члени ОСГ. Схема впровадження незалежних джерел електроенергії і взаємодія суб'єктів цього процесу наведена на рис. 1.

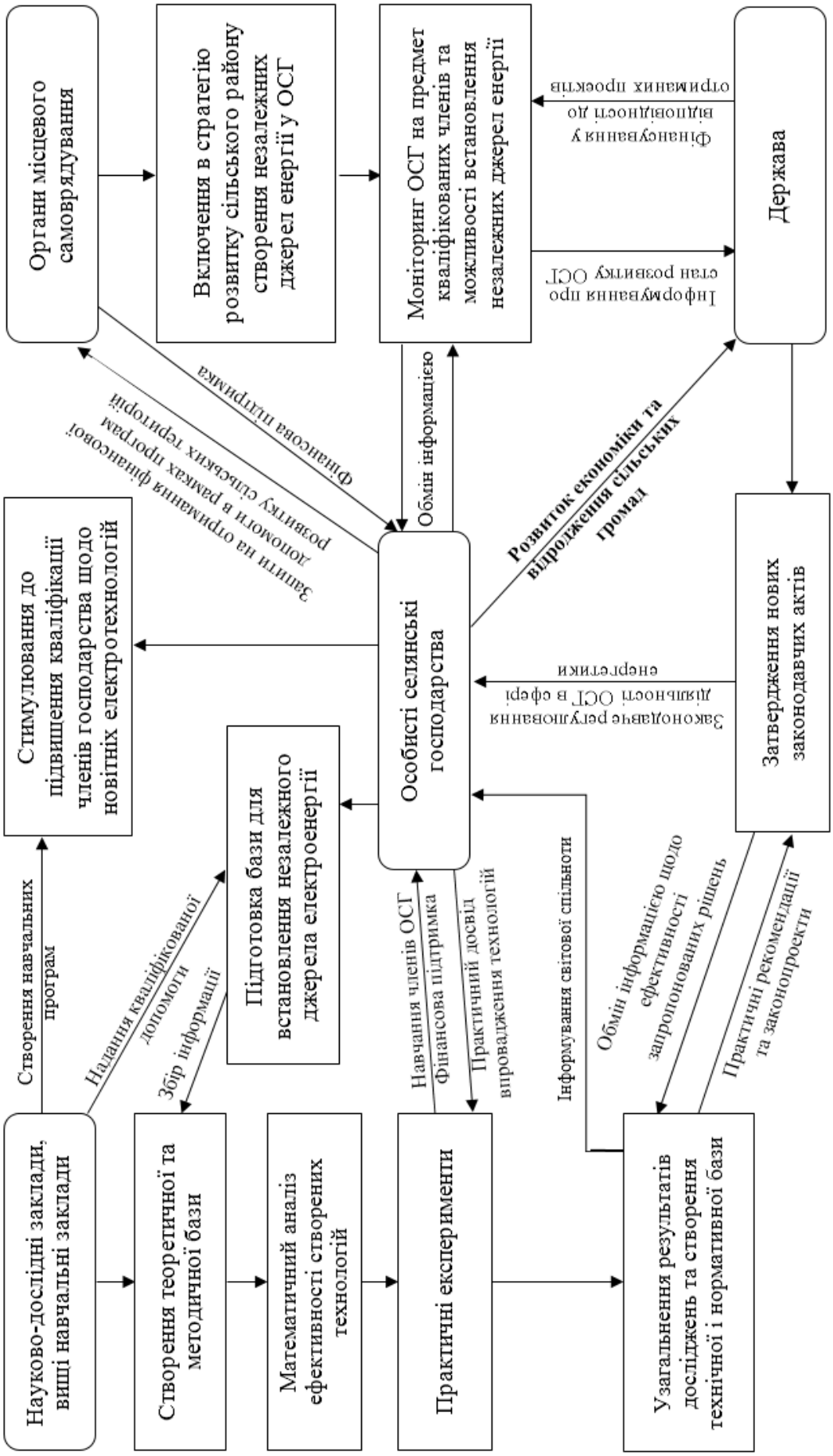



Рис. 1 – Схема впровадження незалежних джерел електроенергії в ОСГ з алгоритмом діяльності її суб'єктів

**Висновок.** Визначено поняття незалежного джерела енергії для ОСГ та доступні джерела електроенергії. Досліджено технологічну можливість, технічну складність встановлення у ОСГ незалежних джерел електроенергії та сировину для їх функціонування. Проаналізовано антимонопольний ефект від встановлення незалежного джерела електроенергії та шляхи до забезпечення ОСГ ними. Єдиним шляхом до досягнення цілей розвитку електроенергетичної незалежності сільських громад є взаємодія суб'єктів цього процесу. Спільними зусиллями держави, органів місцевого самоврядування, науковців і самих членів ОСГ це можливо.

Перспективним напрямком розвитку і впровадження незалежного джерела енергії в ОСГ є створення гібридного джерела енергії адаптованого для України.

Проведення достатньої кількості практичних експериментальних досліджень ефективності впровадження незалежних джерел електроенергії в ОСГ стане передумовою для створення нормативної бази як основи для законотворення у сфері електрифікації сільських територій.

**Список використаних джерел**

1. *Левчук К. І.* Розвиток фермерських та особистих селянських господарств України в середині 90–х років XX ст. *Гілея*. 2018. Вип. 131. С. 84-87.

2. *Шепель Т. П.* Теоретичні основи функціонування особистих селянських господарств. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Сер. Економічні науки.* 2018. Вип. 33. С. 50-57.

3. *Губені Ю. Е.* Розвиток особистих селянських господарств в умовах інституціональних змін. *Економіка України*. 2017. № 3. С. 59-67.

4. *Губені Ю. Е.* Розвиток особистих селянських господарств в умовах адміністративної децентралізації. *Економіка АПК*. 2017. № 1. С. 68-73.

5. *Коваль Н. В.* Соціально-економічний розвиток особистих селянських господарств. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка.* 2017. Вип. 26(2). С. 149-156.

6. *Тулуш Л. Д.* Фіскальне стимулювання трансформації особистих селянських господарств у підприємницькі структури. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*. 2017. Вип. 90(2). С. 16-33.

7. *Мельник Л. Ю.* Стан і перспективи трансформації особистих селянських господарств у агробізнесові господарства. *Агросвіт.* 2016. № 8. С. 9-14.

8. *Addis Alemayehu Y.* Status and Benefits of Renewable Energy Technologies in the Rural Areas of Ethiopia: A Case Study on Improved Cooking Stoves and Biogas Technologies. *International Journal of Renewable Energy Development.* 2015. Vol. 4, no. 2. P. 103-111. DOI: 10.14710/ijred.4.2.103-111 (Last accessed: 02.03.2019).

9. *Predescu M.* Economic evaluation of small wind turbines and hybrid systems for residential use. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*. 2016. № 1. P. 33. URL: https://doaj.org/article/0a026e96b50947c882853765aba48427 (Last accessed: 02.03.2019).

10. *Balmer M.* Energy poverty and cooking energy requirements: The forgotten issue in South African energy policy? *Journal of Energy in Southern Africa.* 2017. Vol. 18, № 3. P. 4-9. URL: http://www.erc.uct.ac.za/sites/default/files/image_tool/images/119/jesa/18-3jesa-balmer.pdf (Last accessed: 02.03.2019).

11. Feasibility study of a hybrid plants (photovoltaic–LPG generator) system for rural electrification / M. Adouane [et al.]. *Renewable Energy and Environmental Sustainability*. 2016. № 1. P. 15. URL: https://doaj.org/article/1fe9153b453c4d39a044becf8692c572 (Last accessed: 02.03.2019).

12. *Zibaei M., Hadian E., Tabatabaei S. M.* Determining Proper Subsidy to Renewable Energy in Iran: A Hybrid Approach of CGE Model. Iranian Energy Economics. 2016. Vol. 5, № 17. P. 129-167. URL: https://doaj.org/article/171c065f63f349068a16d615c9abc72a (Last accessed: 02.03.2019).

13. *Gozen M.* Renewable energy support mechanism in Turkey financial analysis and recommendations to policymakers. *International Journal of Energy Economics and Policy.* 2014. Vol. 4, № 2. P. 274-287. URL: https://doaj.org/article/1a707b098f714ceda68c3d1f4245cfcc (Last accessed: 02.03.2019).

14. *Tauš P., Taušová M.* Economical analysis of FV power plants according installed performance. *Acta Montanistica Slovaca.* 2009. Vol. 14, № 1. P. 92-97. URL: https://actamont.tuke.sk/pdf/2009/n1/13taus.pdf (Last accessed: 02.03.2019).

## РАЗВИТИЕ ЛИЧНОГО КРЕСТЬЯНСКОГО ХОЗЯЙСТВА: НЕЗАВИСИМЫЕ ИСТОЧНИКИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

**Василенко О. А., Семерня Е. В., Гелих А. А., Филон А. М.**

***Аннотация*** - В данной статье определены основные причины упадка села в реалиях современности. Впервые исследованы и проанализированы пути доступа к энергетическим технологиям в сельской местности, что позволит укрепить и повысить экономику личного крестьянского хозяйства (дальше - ЛКХ)

и снизит или обеспечит полную независимость от монополии энергопроизводства государства. Проведенные исследования позволят ускорить решение этого вопроса и создание независимых источников электроэнергии в сельской местности. Впервые определено понятие независимого источника энергии для ЛКХ и доступные источники электроэнергии. Исследована технологическая возможность, техническая сложность установки в ЛКХ независимых источников электроэнергии и сырье для их функционирования. Проанализировано, что независимые источники электроэнергии решают вопрос изолированных сельскохозяйственных районов и территорий с недостаточным напряжением в силу технических факторов. Решение энергообеспечения ЛКХ дает возможность развития антимонопольной системы в сфере электропроизводства Украины и создание базы для будущих исследований в направлении всестороннего развития сельских территорий.

***Ключевые слова:*** личные крестьянские хозяйства, независимый источник энергии, электропроизводство, энергообеспечения.

## DEVELOPMENT OF PERSONAL FARM: INDEPENDENT SOURCES OF ELECTRICITY

**O. Vasilenko, A. Gelikh, A. Filon**

### Summary

This article defines the main causes of the decline of the village in the realities of modern times. For the first time, the ways of access to energy technologies in rural areas have been explored and analyzed, which will strengthen and enhance the economy of the personal farm (further -PF) and reduce or guarantee full independence from the monopoly of the state's energy production. The conducted researches will allow to accelerate the decision of this issue and creation of independent power sources in the countryside. For the first time, the notion of an independent source of energy for PF and available sources of electricity are defined. The technological possibility and technical complexity of the establishment independent power sources and raw materials for their functioning in the PF have been investigated. It was analyzed that independent power sources solve the problem of isolated agricultural areas and territories with insufficient voltage due to technical factors. The decision of the PF energy supply provides the opportunity to develop antitrust system in the field of electric power production in Ukraine and create a basis for future research in the direction of comprehensive development rural territories. It was investigated that the main advantage of using an independent source of energy, namely, the processing of heat energy into electricity, in PF is to reduce the final value of the product as a result of the fact that the producer is an end user and the sale of surpluses occurs within the settlement. It is analyzed that PFs, on which independent sources of electricity will be installed, will eventually be able to produce electricity for sale, which will not only become one of the profits of the PF economy, but will also create competition with the monopoly and, as a result, will lead to a reduction in the cost of electricity in the region. Solving the energy supply of PF provides the basis for future research in the direction of comprehensive development of rural areas.

**Key words:** private farm, independent power source, electric power production, power supply.

**УДК 681.5:67.02** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-49**

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

**Гулевский В. Б., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0003-1434-9724**
*Таврический государственный агротехнологический универстет*
e-mail: v_gul@meta.ua
**Кузнецов И. А., к. т. н.**
*DO2 Control*
e-mail: iokuzn@gmail.com

***Аннотация*** - работа посвящена вопросам новых подходов к реализации систем автоматизации в технологических процессах.

Анализируя существующие системы проектирования автоматических и автоматизированных систем управления технологическими процессами, замечено, что автоматизированное решение задач компоновки оборудования и разработка функционально насыщенной автоматической системы управления в большей степени базируется на человеческом факторе. Однако, для выбора оптимального варианта иногда необходимо проанализировать тысячи альтернативных вариантов инжиниринговых решений, что невозможно без их автоматизированного синтеза и анализа.

Представлена типичная структурная схема системы автоматизированного управления технологическими процессами. Рассмотрены рынок производителей программируемых логических контроллеров. Отмечено, что 80% рынка ПЛК в Северной Америке занимает компания Allen-Bradley, на Европейской части используется Siemens, а также активно развиваются проекты с использованием оборудования Omron, Schneider и др.

Акцентировано внимание на программном обеспечении для создания основной архитектуры управления будущим технологическим процессом и языков программирования. Современные системы автоматизации базируются на концептуально новых подходах в реализации и будут иметь больший потенциал для внедрения в условиях различных производственных отраслях Украины.

***Ключевые слова*** - программируемые логические контроллеры, системы автоматизированного управления, автоматизация.

**Постановка проблемы.** Современные технологии автоматизации технологических процессов (ТП) промышленного производства в Украине и за ее пределами существенно отличаются друг от друга. Главное и базовое отличие заключается в применении программируемых логических контроллеров (ПЛК) за рубежом и использовании релейно-контактной логики в Украине.

**Анализ последних исследований.** Анализируя существующие системы проектирования, можно заметить, что автоматизированное

© Гулевский В. Б., Кузнецов И. О.

решение задач компоновки оборудования и разработки функционально насыщенной АСУ, основано в большей мере, на человеческом факторе. Однако, для выбора оптимального варианта иногда надо проанализировать тысячи альтернативных, что невозможно без их автоматизированного синтеза и анализа [1]. Особенностью последних нескольких лет развития промышленности является кардинальное возрастание требования комплексной автоматизации объектов. В настоящее время имеется большое разнообразие техники для механизации и автоматизации технологических процессов, которые описаны во многих источниках, что позволяет спрогнозировать возможные направления, по которым будут происходить наиболее важные изменения в самом ближайшем будущем. К таким устройствам относятся электронные вычислительные машины (ЭВМ) — компьютеры, также программируемые логические контроллеры (ПЛК). В большинстве случаев именно ПЛК используют для управления промышленными технологическими процессами [2].

**Формулировка целей статьи.** Определение технических средств и программного обеспечения для реализации комплексного подхода к совместной разработке АСУТП.

**Основные материалы исследования.** В современных АСУТП, базовую роль занимают ПЛК - специальная разновидность электронной вычислительной машины, обеспечивающие автоматизацию ТП. В качестве основного достоинства работы ПЛК выступает его длительное автономное использование, зачастую в неблагоприятных условиях окружающей среды, без серьёзного обслуживания и практически без вмешательства человека. Безусловно, используются и реле, но их роль в большинстве своем сводится к подаче питания, а не к управлению.

Структурная схема системы автоматизированного управления ТП показана на рис.1.

Существует колоссальное множество производителей ПЛК [3]. Так, например, 80% рынка производимых ПЛК в Северной Америке занимает компания Allen-Bradley, на европейской части используются Simens, а также активно развиваются проекты с использованием оборудования Omron, Schneider и др.

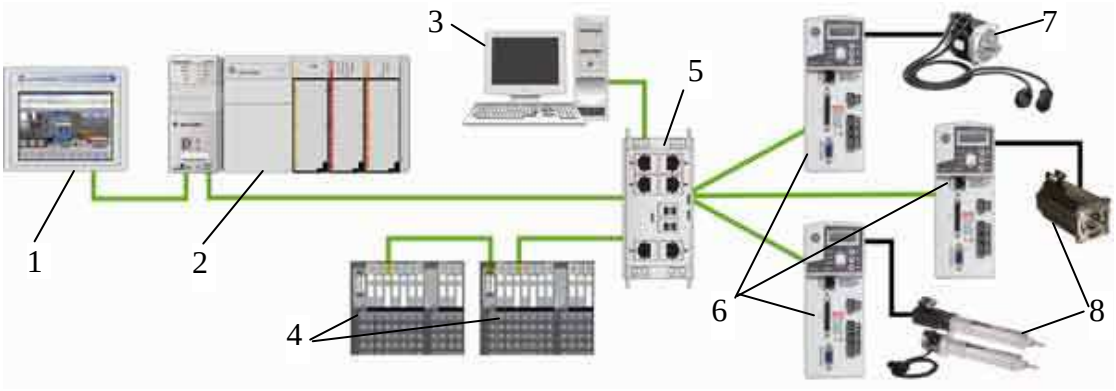
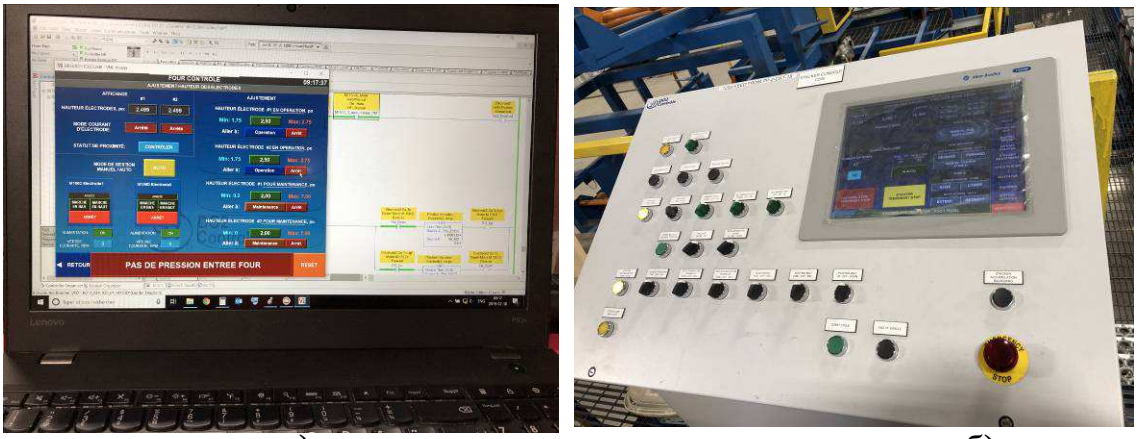



Рис. 1. Типовая структурная схема системы автоматизированного управления ТП
1 – консоль оператора, 2 – ПЛК, 3 – пост программирования, 4 – карты входящих/выходящие сигналов, 5 – коммуникационный блок (коммутатор сети Ethernet/ IP, Device Net или др.), 6 – VFD (управляющий частотный привод), 7 – энкодер, 8 – сервомотор или AC/DC мотор.

Пост программирования 3 использует различные виды программного обеспечения для создания основной архитектуры управления будущим ТП, такие как RS Logix 5000, Unity Pro XL (для ПЛК Telemecanique schneider electric) и др. Наиболее распространенные языки программирования это Ladder, ST, SFC и FB. Готовая программа загружается по средству уже сконфигурированной сети (5) в ПЛК (2). При помощи программного обеспечения, такого как Factory Talk, In Touch и др. программируют консоль оператора (1) (рис. 2).

Различные приборы контроля и учета подключают к картам входа/выхода сигналов (4). Непосредственное управление моторами различных типов осуществляется через VFD (преобразователь частоты переменного тока (6). VFD (рис. 3) - это частотно-регулируемый преобразователь, работа которого основана на изменении частоты и напряжения, подаваемых на электродвигатель. Частота напрямую связана со скоростью вращения мотора и чем она выше, тем быстрее вращается ротор двигателя. Если система не требует, чтобы электродвигатель работал на полной скорости, привод VFD позволяет снизить частоту и напряжения в соответствии с технологическими требованиями нагрузки электродвигателя.




а) б)

Рис. 2. Консоль управления ТП
а) – макет выполняемой программы в оболочке Factory Talk; б) – загруженная программа на пульт управления консоли оператора.




а) б)

Рис. 3. Частотно-регулируемый преобразователь
а – внешний вид VFD; б – компоновка шкафа управления с использованием VFD.

**Вывод.** Современные системы автоматизации предполагают концептуально новые подходы в ее реализации и, безусловно, будут обладают большим потенциалом для ее внедрения в производственной сфере Украины.

**Список використаних джерел**

1. *Диордиев В. Т., Кашкарев А. А.* Оптимальное проектирование организационно-технического обеспечения производства в АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П.Василенка. Сер. Технічні науки* Харків, 2013. Вип. 142: Проблеми енергозабезпечення та

енергозбереження в АПК України. С. 27-30. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhdtusg_2013_142_11 (дата звернення: 12.03.2019).

2. *Максимов Н. В., Попов И. И., Партыка Т. Л.* Архитектура ЭВМ и вычислительных систем: учебник для среднего профессионального образования. Москва: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2007. 512 с.

3. Програмовані логічні контролери. *КСК-АВТОМАТИЗАЦІЯ*: веб-сайт. URL: https://www.kck.ua/dir/asutp/plk.html (дата звернення: 12.03.2019).

## СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

**Гулевський В. Б., Кузнєцов І. О.**

***Анотація*** - робота присвячена питанням нових підходів до реалізації систем автоматизації в технологічних процесах.

Аналізуючи існуючі системи проектування автоматичних та автоматизованих систем керування технологічними процесами, помічено, що автоматизоване вирішення завдань компонування обладнання та розробка функціонально насиченої автоматичної системи управління в більшій мірі базується на людському факторі. Однак, для вибору оптимального варіанту іноді необхідно проаналізувати тисячі альтернативних варіантів інжинірингових рішень, що неможливо без їх автоматизованого синтезу та аналізу.

Особливістю останніх років розвитку галузі є різке зростання попиту на комплексну автоматизацію об'єктів. В даний час існує широке різноманіття обладнання для механізації, електрифікації та автоматизації технологічних процесів, які описані в багатьох джерелах. Це дозволяє передбачити можливі напрями найважливіших зміни у найближчому майбутньому. До таких пристроїв належать електронні комп’ютери - комп’ютери, програмовані логічні контролери (ПЛК), а також портативні комп’ютери із вбудованими засобами зв’язку, введення-виведення та архівації даних. У більшості випадків це програмовані логічні контролери, що використовуються для управління виробничими процесами.

Представлена типова структурна схема системи автоматизованого управління технологічними процесами. Розглянуто ринок виробників програмованих логічних контролерів. Відзначено, що 80% ринку ПЛК у Північній Америці займає компанія Allen-Bradley, на Європейській частині використовується Siemens, а також активно розвиваються проекти з використанням обладнання Omron, Schneider та ін.

Акцентована увага на програмному забезпеченні для створення основної архітектури керування майбутнім технологічним процесом та мов програмування.

Сучасні системи автоматизації базуються на концептуально нових підходах у її реалізації та будуть мати більший потенціал для впровадження в умовах різних виробничих галузях України.

***Ключові слова*** - програмовані логічні контролери, системи автоматизованого управління, автоматизація.

# MODERN TRENDS IN THE AUTOMATION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

**V. Hulevskyi, I. Kuznetsov**

***Summary***

The work is devoted to issues of new approaches to the implementation of automation systems in technological processes.

Analyzing the existing design systems, one can notice that the automated solution of the tasks of equipment layout and the development of a functionally saturated automatic control system is based to a greater extent on the human factor. However, to select the optimal variant, it is sometimes necessary to analyze thousands of alternative ones, which is impossible without their automated synthesis and analysis.

A feature of the last few years of the development of industry is the dramatic increase in the demand for complex automation of objects. Currently, there is a wide variety of equipment for mechanization and automation of technological processes, which are described in many sources, which allows us to predict the possible directions in which the most important changes will occur in the very near future. Such devices include electronic computers - computers, as well as programmable logic controllers. In most cases, it is the programmable logic controllers used to control production processes.

A typical block diagram of an automated process control system is presented. The market of manufacturers of logic programmable controllers is considered. It is noted that 80% of the PLC market in North America is held by Allen-Bradley, Siemens is used in the European part, and projects with Omron, Schneider and other equipment are actively developing.

Emphasis is placed on software to create a basic architecture for managing future technological processes and programming languages.

Modern automation systems are based on conceptually new approaches in its implementation and will have greater potential for implementation in the conditions of different industrial branches of Ukraine.

**Keywords:** programmable logic controllers, automated control systems, automation.

**УДК 519.23:[631.371:621.3.005] DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-50**

# СТАТИСТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АПК УКРАЇНИ

**Павлов Г. О.**[1] **https://orcid.org/0000-0003-2489-6481**
**Кулагін Д. О., к.т.н.**[2] **https://orcid.org/0000-0003-3610-4250**
[1] *АТ «МОТОР СІЧ»*
[2] *Запорізький національний технічний університет*
e-mail: georgiy52342pavlov@gmail.com

***Анотація*** – робота присвячена дослідженню впливу факторів, які характеризують загальні виробничі потужності та економічний стан АПК України протягом 1991-2018 років на характер витрат електроенергії у сільській місцевості на виробничі потреби.

У статі надані рекомендації щодо впровадження енергозберігаючих заходів, згідно з якими мінімізація витрат електроенергії, пов'язаних з виробництвом продукції на підприємствах АПК України дасть більш виражений позитивний економічний ефект, не залежно від економічного становища на даних підприємствах. У результаті дослідження виявлено малопомітний вплив прибутковості підприємств на їх рівень споживання електроенергії, що пояснюється низьким рівнем оснащеності виробництва АПК України, та значними витратами електроенергії невиробничого характеру, через які виникає надмірна енергоємність даного сектора економіки.

***Ключові слова:*** електрична енергія, АПК України, регресійний аналіз, підприємство, енергетичні потужності

**Постановка проблеми.** На сьогодні, згідно з [1], у сільській місцевості України станом на 2017 рік кількість зношених ЛЕП, ВРП, КТП склала 50%, причому протягом того ж року частка КТП, на яких траплялися аварійні ситуації складала близько 2,5% від їх загальної кількості. В подальшому це призводить до знеструмлень не тільки побутових споживачів, але і споживачів 2-ї та 1-ї категорії електропостачання[2], що може вказувати на значний рівень зношеності сільських електричних мереж, що в свою чергу спонукає до дослідження енергозабезпеченності АПК України, на підставі якого можна визначити основні шляхи оптимізації електропостачання даного комплексу.

**Аналіз останніх досліджень.** Проблемою дослідження енергозабезпечення різних галузей займалися такі вчені, як І. А. Маренко, І. О. Темнохуд, А. И. Ганус, К. А. Старков, О. О. Рубаненко, А. А. Халатов та інші.

© Павлов Г. О., Кулагін Г. О.

У статті [2] виконано аналіз напрямків уніфікації систем теплопостачання, одним з яких являється комбінована генерація теплової та електричної енергії із застосуванням когенераційного устаткування, за умови децентралізованої генерації енергії. Однак, у роботі не було розглянуто економічний аспект даного заходу та неоцінена можливість додаткової генерації енергії з нетрадиційних джерел енергії (НДЕ). Натомість, у [3] зазначалось, що на стан енергозабезпечення може впливати тільки надійність енергосистеми, дослідження якої виконувалося на підставі статистичного аналізу потоку відмовлень ЛЕП різних номіналів, з якого встановлено, що найнадійнішими електромережами являються мережі номіналом 0,4 кВ, що також було підтверджено дослідженнями наведеними у [4], однак річна вірогідність виходу з ладу однієї з гілок енергосистеми не більша за 0,007%, тому вплив надійності роботи енергосистеми на енергозабезпечення АПК України незначний.

Однак, при подальшому аналізі літератури було встановлено, що у незначній кількості джерел висвітлено економічний аспект енергозабезпеченності АПК України [2,6-10], причому даному аспекту було приділено недостатньо уваги, тому аналіз споживання електроенергії і енергозабезпечення у АПК України необхідно розглянути більш детально.

**Формування цілей статті.** Метою статті є теоретичне дослідження споживання електроенергії у сільському господарстві статистичним (регресійний аналіз), графічним методами та методом експертних оцінок для виявлення можливих шляхів розвитку електроенергетики та впровадження енергозберігаючих технологій у АПК України.

**Основні матеріали дослідження.** У якості основного предмету дослідження споживання електроенергії у АПК України були використані дані представлені державною службою статистики, які характеризують електроозброєність праці у сільськогосподарських підприємствах ($кВт \cdot год$), наявність енергетичних потужностей на кінець року ($тис.к.с.$), кількість енергетичних потужностей, які припадають на 100 Га посівної площі ($к.с.$), кількість зайнятих працівників у АПК України ($тис.осіб$), обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) виробленої АПК України, ($млн.грн$), за весь період 1991-2018 років (таблиця 1).

Згідно з таблицею 1 в АПК України протягом усього періоду спостерігається спад споживання електроенергії з динамікою приблизно 8-10% кожного року, разом з яким зниження спостерігається також в показниках, які характеризують

електроозброєність господарств АПК України. Приблизно на той самий показник (близько 10%).

Таблиця 1

**Електрифікація, енергетичні потужності, та деякі показники економічного стану сільського господарства**

| Роки | Спожито електроенергії в сільському господарстві на виробничі потреби всього, млн. кВт*год | Електроозброєність праці у сільськогосподарських підприємствах , кВт*год | Наявність енергетичних потужностей на кінець року тис. к. с. | Припадає енергетичних потужностей на 100 га посівної площі, к. с. | Кількість зайнятих працівників, тис. осіб | Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг), млн. грн |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1991 | 19352,9 | 4817 | 149209 | 502 | 14024,1 | 101512,1 |
| 1992 | 17701,7 | 4543 | 152018 | 528 | 13631,2 | 119234,3 |
| 1993 | 16050,6 | 4268 | 151991 | 537 | 13205.4 | 125637,8 |
| 1994 | 14399,4 | 3993 | 151937 | 546 | 12894.7 | 129534,4 |
| 1995 | 12748,2 | 3718 | 147312 | 543 | 12317.3 | 205327,7 |
| 1996 | 10994 | 3492 | 136914 | 517 | 12112.8 | 235515,2 |
| 1997 | 9184,1 | 3184 | 126534 | 491 | 11905.8 | 304618,1 |
| 1998 | 8148.4 | 3064 | 116063 | 464 | 11376.2 | 384719,5 |
| 1999 | 5963.5 | 2507 | 106011 | 435 | 11215.5 | 463211,9 |
| 2000 | 3811.3 | 1824 | 94870 | 424 | 11311.3 | 541097,3 |
| 2001 | 3031 | 1599 | 87567 | 395 | 10575.6 | 667326,8 |
| 2002 | 2804,6 | 1675 | 80450 | 382 | 10151.3 | 738936,7 |
| 2003 | 2663,5 | 1971 | 73147 | 399 | 9744.5 | 985171,1 |
| 2004 | 2483,8 | 2188 | 66504 | 345 | 9581.7 | 1405096,2 |
| 2005 | 2490,4 | 2486 | 62881 | 341 | 9429.9 | 1514549,1 |
| 2006 | 2519,8 | 2682 | 59256 | 322 | 9272.5 | 1898295 |
| 2007 | 2485,7 | 2958 | 55907 | 301 | 9154.3 | 2414715,3 |
| 2008 | 2492,3 | 3121 | 53910 | 277 | 8969.4 | 3014742,4 |
| 2009 | 2495,1 | 3404 | 52007 | 271 | 8274.8 | 2740778,5 |
| 2010 | 2496,5 | 3711 | 50342 | 266 | 7623.6 | 2765686,1 |
| 2011 | 2496,6 | 4205 | 48943 | 254 | 6822,7 | 3380990,5 |
| 2012 | 2227,4 | 4824 | 45625 | 244 | 6636,5 | 4133186,8 |
| 2013 | 2001,3 | 5183 | 42532 | 235 | 6455,4 | 5052730, 2 |
| 2014 | 1809,7 | 5756 | 39648 | 225 | 6279,2 | 6176851,8 |
| 2015 | 1646,2 | 6143 | 36961 | 217 | 6107,9 | 7551065,9 |
| 2016 | 1505,7 | 6084 | 34455 | 208 | 5941,2 | 9231012,4 |
| 2017 | 1384,3 | 7784 | 32119 | 200 | 5779,03 | 11284710,2 |
| 2018 | 1278,8 | 8513 | 29942 | 192 | 5621,3 | 13795310,6 |

Дану тенденцію можна пов’язати з занепадом деяких галузей АПК України, наприклад таких як тваринництво, про що також

говориться у [11]. Проте починаючи з 2002 року і по сьогодні показники електроозброєності господарств збільшуються з динамікою близько 9%, причому споживання електроенергії у АПК України продовжує і до сьогодні знижуватись приблизно з тією самою динамікою, що може свідчити не тільки про більшу розповсюдженість практики впровадження енергозберігаючих технологій у сільському господарстві, але і збільшення частки автоматизованих та механізованих виробництв у АПК України.

Показники, які характеризують значення енергетичних потужностей у АПК України також демонструють зменшення, з динамікою у 5-6% кожного року, з чого можна припустити, що показники енергетичних потужностей також мають вплив на споживання електроенергії у АПК України, оскільки механізовані засоби виробництва, задіяні у виробничому процесі, можуть також мати у своїй конструкції елементи, які споживають електричну енергію. З вищесказаного можна припустити, що більшість господарств у АПК Україні залишаються недостатньо автоматизованими та механізованими, тому вплив електроозброєності сільського господарства може мати незначний вплив на споживання електроенергії у АПК України в цілому, також дана тенденція може свідчити про значну енергоємність АПК України, яка виражена у значних витратах енергоресурсів не невиробничі потреби. Однак, у показниках сумарної потужності механізованих засобів, яка припадає на 100 Га, в деякі періоди спостерігається зростання, а саме: 1991 – 1994 роки, 2002 – 2003 роки. Стрибкоподібну динаміку зміни даного показника може бути пов’язана із ремонтом та подовженням експлуатаційного ресурсу сільськогосподарської техніки. Але зниження показника сумарної кількості енергетичних потужностей, які припадають на 100 Га можна пов’язати не тільки із зношенням старої техніки, але і з значною ефективністю задіяної нової. Проведене дослідження у [12], показало, що задіяння інтелектуальних систем у якості бортових контролерів на сільськогосподарській техніці здатне підвищити продуктивність проведення сільськогосподарських робіт; для тракторів на 7-10%, а для комбайнів – 3-5% для більшості типів, і як наслідок – знизити енерговитрати.

У АПК України спостерігається щорічне скорочення робочих місць з динамікою у 2-3% кожного року, причому щорічні прибутки зростають в середньому на 10-15%, що можна пов’язати із задіянням більш ефективного обладнання при виробництві сільськогосподарської продукції, при якому певна кількість робочих місць на підприємствах АПК України непотрібна.

Для складання регресійної моделі першочергово необхідно з’ясувати статистичну значимість факторів між собою, наведених в

таблиці 1, з яких найбільш статистично значимі будуть включені у регресійну модель, що необхідно для забезпечення прийнятної адекватності даної моделі, і як наслідок - отримання з неї максимально достовірних розрахункових даних. Початковим етапом визначення статистичної значимості факторів являться розрахунок коефіцієнтів кореляції для визначення типу взаємозв'язку факторів між собою.

З таблиці 2 видно, що більшість коефіцієнтів кореляції мають додатне значення. Коефіцієнти, які характеризують взаємозв'язок між кількістю занятих працівників та усіма іншими факторами мають від'ємне значення, що свідчить про необхідність мінімізувати втручання людини у виробничий процес на підприємствах АПК України. Найбільш виражений зворотній взаємозв'язок спостерігається між показником, який характеризує наявність енергетичних на 100 Га і кількість занятих працівників, що вказує на більшу розвиненість рослинництва у АПК України, а також на більш виражений позитивний економічний ефект для АПК України в цілому від оптимізації проведення польових робіт шляхом застосування інтелектуальних систем або енергозберігаючих заходів.

Найменш виражена негативна залежність із слабкою статистичною значимістю спостерігається між факторами, які характеризують електроозброєність праці та кількість занятих осіб. Дана тенденція може свідчити про низький рівень автоматизованості виробництва сільськогосподарських підприємств та у превалюванні «живої сили» у виробничих процесах АПК України загалом. Із врахуванням умов, наведених вище, можна припустити, що включення фактору, який характеризує електроозброєність сільського господарства можна вважати неприпустимим, оскільки включення даного фактору в модель матиме негативний вплив на достовірність її результуючого (розрахункового) показника і на адекватність даної моделі загалом. Найбільшу статистичну залежність від споживання електроенергії мають показники, які характеризують енергетичні потужності задіяного обладнання у сільському господарстві та кількість задіяних працівників. Також треба звернути увагу, що у підібраних показниках виражена спадаюча експоненціальна залежність, що вказує на становлення довготривалої економічної стабільності аграрного сектору України після короткострокового різкого погіршення його економічного стану.

Таблиця 2

**Коефіцієнти кореляції разом із значеннями t-статистики (у дужках) ($t_{табл=2,11}$, для довірчого інтервалу моделі у 5%) .**

| | Спожито електроенергії в сільському господарстві на виробничі потреби– всього, млн. кВт*год | Електроозброєність праці у сільськогосподарських підприємствах , кВт*год | Наявність енергетичних потужностей на кінець року тис. к. с. | Припадає енергетичних потужностей на 100 Га посівної площі, к. с. | Кількість зайнятих працівників, тис. осіб | Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг), млн. грн |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Спожито електроенергії в сільському господарстві на виробничі потреби– всього, млн. кВт*год | 1 | 0,8637 (7,06) | 0,9364 (11) | 0,8636 (7,06) | -0,7011 (4,06) | 0,6649 (3,67) |
| Електроозброєність праці у сільськогосподарських підприємствах , кВт*год | - | 1 | 0,679 (3,92) | 0,5474 (2,77) | -0,2691 (1,19) | 0,4775 (2,31) |
| Наявність енергетичних потужностей на кінець року тис. к. с. | - | - | 1 | 0,9791 (20,42 ) | -0,8693 (7,46) | 0,7412 (4,68) |
| Припадає енергетичних потужностей на 100 Га посівної площі, к. с. | - | - | - | 1 | -0,9282 (10,58) | 0,7383 (4,64) |
| Кількість зайнятих працівників, тис. осіб | - | - | - | - | 1 | -0,6507 (3,63) |
| Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг), млн. грн | - | - | - | - | - | 1 |

Електроозброєність має відмінний характер залежності у порівнянні з факторами, про які сказано вище, а також може знизити статистичну значимість фактору, який характеризує кількість задіяних працівників у АПК України і його вплив на результуючий показник моделі, оскільки один з його коефіцієнтів кореляції склав -0,2691 при статистичній його значимості у 1,19, що може вказувати на проблеми з мультиколеніарністю даного фактору з іншими, тому включення його у модель може також негативно вплинути на її адекватність.

Також на взаємозв'язки у моделі на інші фактори має негативний вплив показник обсягу реалізованої продукції. За результатами розрахунку регресійної моделі наближений показник обсягу реалізованої продукції виявився статистично незначимим (коефіцієнт Фішера склав $F_к = 3,9$ при $F_{табл} = 4,62$), при його вилучені з моделі оператор коефіцієнтів кореляції збільшився з $2,565 \cdot 10^{-6}$ до $1,003 \cdot 10^{-3}$. Дану тенденцію можна пояснити не тільки різним рівнем оснащеності сільськогосподарських підприємств АПК України, але і різним економічним становищем на даних підприємствах, значною енергоємністю виробництва та більшою витратою енергоресурсів на невиробничі потреби у АПК України.

З урахуванням допущень, наведених вище, та на підставі розрахунку регресійної моделі наближеному методу найменших квадратів, використовуючи дані наведені у таблиці 1, було обрано наступні три фактори для включення їх у дану регресійну модель другого порядку, яка буде характеризувати споживання електроенергії у АПК України: наявність енергетичних потужностей на кінець року, припадає енергетичних потужностей на 100 Га посівної площі та обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг), на підставі чого була складена система рівнянь регресії, до складу якої входить багатофакторне рівняння регресії поліноміально – експоненційного типу, яке характеризує щорічні показники споживання електроенергії у АПК України.

$$\begin{cases} \mathrm{P}_{100\text{Га}} = 4 \cdot 10^{37} \cdot e^{-0,0403 \cdot \text{Роки}} \\ n_{\text{СГР}} = 10^{28} \cdot e^{-0,02767 \cdot \text{Роки}} \\ \Sigma \mathrm{P.e.п} = 10^{66} \cdot e^{-0,0702 \cdot \text{Роки}} \\ W_{\text{в.п.с.г}} = 236,03 \cdot e^{0,000039 \cdot \Sigma \mathrm{P.e.п}} + 62,727 \cdot e^{0,0083 \cdot \mathrm{P}_{100\text{Га}}} + 12,672 \cdot e^{0,000501 \cdot n_{\text{СГР}}} \end{cases} \quad (1)$$

де $\mathrm{P}_{100\text{Га}}$ – наявність енергетичних потужностей в сільськогосподарських підприємствах на кінець року – на 100 га посівної площі, к. с.;

$n_{\text{СГР}}$ – кількість зайнятих працівників у АПК України, тис. осіб;

$\Sigma \mathrm{P.e.п}$ - Електроозброєність праці в сільськогосподарських підприємствах, кВт·год;

$W_{\text{в.п.с.г}}$- Спожито електроенергії на виробничі потреби в сільськогосподарських підприємствах, млн. кВт·год.

Розрахунок критерія Дарбіна-Уотсона вказав на присутність автокореляції у залишках розрахованого рівняння, оскільки умова $d_1 < DW; DW < 4 - d_2$ не виконалась, тому що при табличних значеннях $d_1=1$, $d_2=1,68$ розрахункове значення критерія Дарбіна-Уотсона склало

всього DW=0,448. Крім того, розрахункове значення коефіцієнту автокореляції склало $r_{авт} = 0{,}995$, із статистичною значимістю у $t_{сп} = 56{,}89$, при табличному значені для даного рівняння $t_{табл} = 2{,}11$. З вищенаведених показників встановлено підтвердження того, що у споживанні електроенергії підприємствами АПК України присутні часові цикли у яких з вірогідністю 96% можуть спостерігатися спади та збільшення значення електричного навантаження на те саме значення, що в свою чергу негативно впливає на роботу електромережі, тому для промислових споживачів у сільській місцевості бажано передбачувати резервне живлення при виникненні пікових навантажень (наприклад під час роботи кормозаготівельних цехів на тваринницьких комплексах тощо).

Згідно з розрахованими коефіцієнтами еластичності встановлено, що найбільшу енергоємність мають робочі місця АПК України. Приблизно 47,5 Вт електричного навантаження припадає на кожне робоче місце, причому на 1 к. с. наявних енергетичних потужностей на кінець року припадає 29,1 Вт, а на 1 к. с. техніки, яка припадає на 100 Га обробляємої ділянки – 6 Вт. Оскільки найбільше електричне навантаження припадає на робочі місця, що вказує на надмірне споживання електричної енергії, і як наслідок висока енергоємність виробництва АПК України пов'язане із організацією виробництва (використання енергетично неефективного виробничого обладнання), тому енергозберігаючі заходи на підприємствах АПК України необхідно впроваджувати з метою зменшення споживання електроенергії виробничим обладнанням (наприклад використання обладнання з подібними характеристикам, до того яке використовується на виробництві, але з меншим енергоспоживанням), тобто оптимізація невиробничих витрат (застосування енергозберігаючих освітлювальних пристроїв в освітлювальній системі цеху тощо) не дасть необхідного рівня економічного ефекту.

З проведеного аналізу апроксимованих даних споживання електроенергії у сільському господарстві на виробничі потреби, отриманих з виведеної системи рівнянь, встановлено, що її середня похибка апроксимації складає $A_{пох} = 1{,}34\%$, що задовольняє умові $A_{пох} < 13\%$, з коефіцієнтом множинної детермінації $R^2 = 0{,}9862$, при якому достовірність розрахункових даних з моделі повинна бути у межах $99{,}31^{(\pm 0{,}69)}$ %. Оскільки дана модель має значний довірчий інтервал апроксимації, тому її можна використовувати для прогнозування споживання електроенергії у АПК України.

З виведеної системи регресійних рівнянь були розраховані дані можливого споживання електроенергії протягом 2019-2050 рр. за умови зберігання нинішнього економічного становища у АПК

України, із значень яких була побудована залежність, яка наведена нижче.

З прогнозових значень, наведених на графіку, зображеному на рисунку 1, можна зробити висновок що надмірне споживання електроенергії у АПК України на сьогодні становить близько 64%, причому щорічне споживання електроенергії у АПК України на виробничі потреби повинно бути не більше за 400 млн. кВт · год.

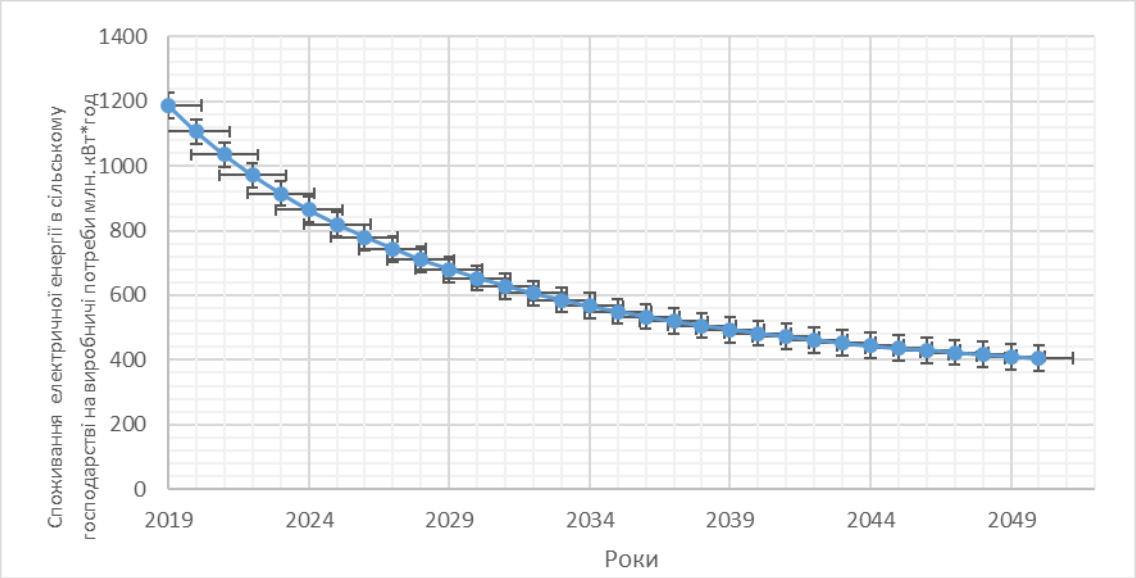



Рис. 1. Прогнозовий графік споживання електроенергії у АПК України за умови зберігання існуючого економічного становища

**Висновок.** Із проведеного статистичного дослідження споживання електричної енергії у АПК України видно, що найбільший вплив на споживання електричної енергії з факторів наведених у таблиці 1 мають значення сумарні енергетичні потужності, які припадають на кінець року (з коефіцієнтом кореляції складає 0,9634), що пов'язано із низьким рівнем автоматизованості виробництва, підтвердженням чого є низька статистична значимість одного із коефіцієнтів кореляції фактору, який характеризує кількість задіяних осіб на виробництві, та відсутність статистичного взаємозв'язку між споживанням електроенергії та кількістю реалізованої продукції. Проблеми з мультиколеніарністю присутні у факторі електроозброєності, що може бути пов'язано із невідповідністю сумарної електричної потужності з фактичним споживання електроенергії даним обладнанням, тому у значені електроозброєності необхідно враховувати значення компенсованої (додатково виробленої) електричної потужності. На підставі подальших розрахунків було встановлено, що найбільш економічно вигідно мінімізувати виробничі витрати електроенергії на

підприємствах АПК України, а повторюваність на певному проміжку часу характеру електричного навантаження свідчить про необхідність додаткового резервування потужності у електричних мережах сільської місцевості України.

Виведена регресійна модель (система рівнянь) дасть змогу прогнозувати щорічне споживання електричної енергії у АПК України. Через проблеми з отриманням вихідних даних авторам не вдалося врахувати у повній мірі всі фактори, які впливають на споживання електроенергії у АПК України, тому дана модель потребує значного доопрацювання.

**Список використаних джерел**

1. Звіт про результати діяльності Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг у 2017 році. НКРЕКП, березень 2018. URL: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Catalog3/Richnyi_zvit_NKREKP_2017.pdf (дата звернення: 22.01.2019).

2. *Маляренко В. А., Темнохуд І. О., Темнохуд О. О.* Комунальна енергетика України: проблеми, шляхи розвитку. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2016. Вип. 175. С. 138-140.

3. *Ганус А. И., Старков К. А.* Динамика изменения параметра потока отказов линий электропередачи различных номинальных напряжений. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2016. Вип. 175. С. 3-7.

4. *Рубаненко О. О.* Мікроелектромережі як засіб підвищення надійності електропостачання підприємтсв АПК. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.* 2016. Вип. 175. С. 43-45.

5. *Іванух Р. А., Дусановський С. Л., Білае Є. М.* Аграрна економіка і ринок: монографія. Тернопіль: Збруч, 2003. 305 с.

6. *Халатов А. А.* Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи. *Вісник НАН України*. 2016. № 6. С. 53-61.

7. *Вяткін П. С.* Характеристика забезпечення енергетичними ресурсами підприємств сільського господарства. *Вісник ЧДТУ*. 2011. № 2. С.1-5.

8. *Шелудько Р. М., Синиця О. С.* Характеристика енергетичного забезпечення сільськогосподарських підприємств Запорізької області. *Бізнес Інформ*. 2015. № 1. С. 183-189.

9. *Кузнєцова К. О., Ченуша О. С.* Тенденції розвитку підприємств паливно-енергетичного комплексу України. *Економічний вісник НТУУ «КПІ»*. 2017. № 14. С. 165-170.

10. *Дейна А. Ю.* Теоретичні основи статистичного забезпечення регулювання енергонезалежності України. *Економіка і організація управління*. 2017. № 1(25). С. 160-170.

11. *Янковська К. С.* Біоенергетика як один з інструментів підвищення енергетичної ефективності регіону. *Глобальні та національні проблеми економіки.* 2017. Вісник НМУ. Вип. 19. С. 309-314.

12. *Іванишин В. В.* Інноваційне забезпечення оновлення техніко-технологічної бази підприємств АПК. 2010. *Економіка АПК.* № 1. С. 128-133.

## СТАТИСТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ АПК УКРАИНЫ

**Павлов Г. А., Кулагин Д. А.**

***Аннотация*** – статья посвящена исследованию влияния факторов, характеризующих общие производственные мощности и экономическое положение АПК Украины в течение 1991-2018 годов на характер расходов электроэнергии в сельской местности на производственные нужды.

В статье даны рекомендации по внедрению энергосберегающих мероприятий, согласно которым минимизация затрат электроэнергии, связанных с производством продукции на предприятиях АПК Украины даст более выраженный положительный экономический эффект, независимо от экономического положения на данных предприятиях. В результате исследования выявлено малозаметный влияние прибыльности предприятий на их уровень потребления электроэнергии, что объясняется низким уровнем оснащенности производства АПК Украины и значительными затратами электроэнергии непроизводственного характера, из-за которых возникает чрезмерная энергоемкость данного сектора экономики.

***Ключевые слова:*** электрическая энергия, АПК Украины, регрессионный анализ, предприятие, энергетические мощности

# STATISTICAL STUDY OF THE CONDITION OF ENERGY SUPPLY AIC UKRAINE

**G. Pavlov, D. Kulagin**

**Summary**

The work is devoted to the study of the influence of factors characterizing the total production capacity and the economic situation of the agro-industrial complex of Ukraine during 1991-2018 on the nature of electricity consumption in rural areas for production needs.

In the study of electricity consumption in the agricultural sector of Ukraine for production needs, a number of methods were used, including statistical (correlation - regression analysis), graphical methods and the method of expert estimates.

The article provides recommendations for the implementation of energy-saving measures, acording to which minimization of electricity consumption associated with the production of products at the enterprises of the agro-industrial complex of Ukraine, will give a more pronounced positive economic effect regardless of the economic situation at these enterprises. It was also established that in the Ukrainian agro-industrial complex the cyclical nature of the consumption of electric energy is expressed with a probability of 96% repeatability of the nature of the electric load, on the basis of which attention was focused on the need to use backup power for industrial consumers in rural locality of Ukraine. On the basis of further research of electricity consumption for production needs in the agro-industrial complex of Ukraine, a system of regression equations was proposed with the help of which it is possible to predict annual electricity consumption.

As a result of the study, it was found that the profitability of enterprises has a barely noticeable effect on their level of electricity consumption, which is explained by the low level of automation and mechanization of agricultural production in Ukraine, and significant non-production electricity costs, which in turn lead to excessive energy intensity of this sector of the economy. The excessive energy intensity of the Ukrainian agro-industrial complex is also evidenced by the calculated data of the regression equation system proposed in this paper, according to which excessive electricity consumption in the agro-industrial complex of Ukraine can reach up to 65%, and the annual electricity consumption for production needs in the agro-industrial complex of Ukraine can be reduced to ≈400 thousand KW h due to the introduction of energy-consuming technologies.

***Keywords:*** electric energy, Ukrainian agrarian and industrial complex, regression analysis, enterprise, power capacities, power industry

**УДК 664.8:634/635** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-51**

# ТЕПЛОФІЗИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ І ПАРАМЕТРИ – КРИТЕРІЙ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ПЛОДООВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Стручаєв М. І., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-8891-4960**
**Постол Ю. О., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0002-0749-3771**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: yuliapostol111@gmail.com

***Анотація*** - робота посвячена теоретичним і експери-ментальним дослідженям можливості використання значень коефіцієнтів теплопровідності в залежності від температури для контролю теплової і холодильної обробки плодоовочевої продукції в різних зонах підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. Проведені нами дослідження в інтервалі температур: від + 100ºС до -195,75ºС (в рідкому азоті), показали, що зміна коефіцієнта теплопровідності різних плодів і овочів від температури мають подібний характер і описується запропонованою нами формулою. Отримані аналітичні залежності та емпіричні коефіцієнти можуть бути використані для розрахунку технологічних ліній заморожування плодоовочевої продукції.

**Ключові слова:** коефіцієнт теплопровідності, теплова і холодильна обробка, плодоовочева продукція.

**Постановка проблеми.** Плодоовочева продукція займає важливе місце в сучасному раціоні харчування, але період плодоносіння на півдні України складає приблизно 3 місяці, що потребує вирішення проблеми довготривалого зберігання. Значну частку способів підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання займає теплова і холодильна обробка. Існує кілька способів теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. Це стерилізація, пастеризація, тривала пастеризація, короткочасне зберігання в холодильних камерах при плюсовій температурі, тривале зберігання при мінусових температурах; дуже тривале зберігання при температурах нижче мінус 50 $^0$C [1]. При здійсненні технологічних процесів, пов’язаних з використанням теплової і холодильної обробки, важливе місце займає визначення теплофізичних характеристик і параметрів, таких як температура, тиск, коефіцієнт теплопровідності [2].

***Аналіз останніх досліджень.*** Питання визначення теплофізичних характеристик плодів і овочів, та контролю якості плодоовочевої

© Стручаєв М. І., Постол Ю. О.

продукції висвітлені в роботах [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. Але проблеми, які вирішено в них носять фрагментарний характер. Узагальнюючої роботи, яка охоплює використання теплофізичних характеристик і параметрів плодоовочевої продукції для контролю якості плодоовочевої продукції на усьому інтервалі температур підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання з використанням теплової і холодильної обробки досі немає.

***Постановка завдання.*** Дослідження відповідності локально-стабільних значень теплофізичних характеристик і параметрів плодоовочевої продукції при позитивних і негативних температурах різним видам теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання.

***Основна частина.*** Проведені дослідження [3,4,13] показали, що зміна коефіцієнту теплопровідності різних плодів і овочів від температури мають подібний характер, для них залежність коефіцієнта теплопровідності від температурі описується запропонованою формулою

$$\lambda = a_0 + a_1 \cdot T + a_2 \cdot T^2 + a_3 \cdot T^3 + a_4 \cdot T^4 + a_5 \cdot T^5 + a_6 \cdot T^6 + ... + a_9 \cdot T^9, \quad (1)$$

Або

$$\boldsymbol{\lambda_i = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i \cdot T^i}, \quad (2)$$

де $\boldsymbol{\lambda_i}$ – коефіцієнт теплопровідності даного виду овочів, Вт/(м·К);

$\boldsymbol{a_i}$ – емпіричні коефіцієнти, які залежать від виду овочів, їх структури, вмісту вологи та інших параметрів;

$\boldsymbol{T}$ – поточна температура плода, К.

Завдяки дослідженню коефіцієнта теплопровідності плодоовочевої продукції в широких межах: від + 100ºС до -195,75ºС (в рідкому азоті), можна зробити висновок про наявність кількох зон теплової обробки, в яких існують локально-стабільні значення коефіцієнта теплопровідності, відповідних зонам технологічних вимог способів теплової і холодильної обробки для підготовки плодоовочевої продукції до тривалого зберігання. В залежності від цілей зберігання плодоовочевої продукції вибирають такі способи, як: стерилізація, пастеризація, тривала пастеризація, короткочасне зберігання в холодильних ка-

мерах, тривале холодильне зберігання, дуже тривале холодильне зберігання.

Перша зона (рис. 1) лежить в області плюсових температур, від температури кипіння 100 °С (на рисунку частина зони не показана) при атмосферному тискові до 0 ºС і відзначається плавним зниженням коефіцієнта теплопровідності зі зниженням температури, що викликано зменшенням конвективної складової перенесення теплоти і наближенням до значень чистої теплопровідності твердих структур плода поблизу нуля. У цій зоні маємо справу не з коефіцієнтом теплопровідності, а з деякою еквівалентною величиною, яка враховує перенесення теплоти як теплопровідністю через скелетні структури, так і конвективний перенос теплоти капілярною і внутрішньоклітинною вологою.

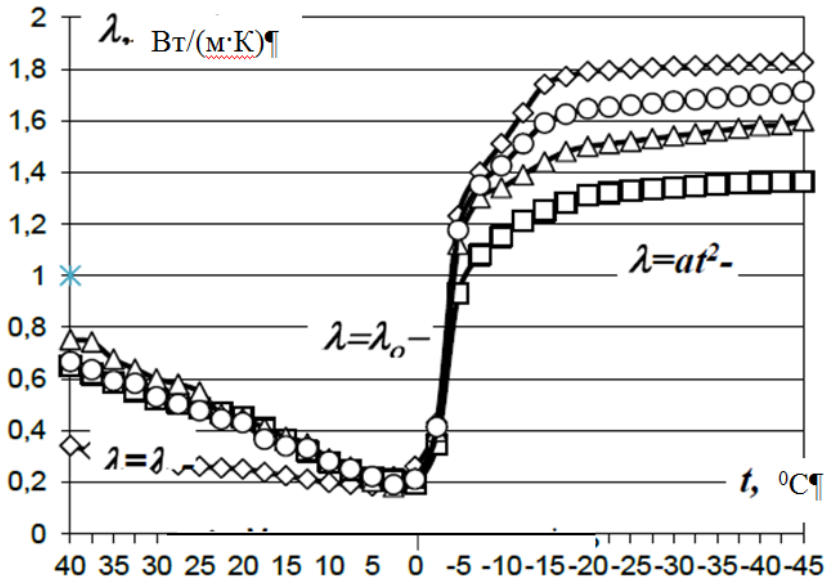



Рис. 1. Зони локально-стабільних значень коефіцієнта теплопровідності підготовки до зберігання плодоовочевої продукції на прикладі: кукурудзи молочної стиглості -□, перцю солодкого -Δ, баклажанів - ○ і кабачків -◇

Друга зона: від нуля градусів до криоскопічної температури, яка для кожного плоду має своє значення, але в середньому від мінус 0,5ºС до мінус 2,5ºС і навіть - мінус 4 ºС для часнику. У цій зоні ми маємо практично нульове значення коефіцієнта теплопровідності, тому, що майже уся кількість теплоти витрачається на здійснення фазового переходу. Температура при цьому залишається незмінною приблизно протягом двох з половиною годин при температурі в камері холодильника мінус 20 ºС.

Третя зона: від криоскопічної температури до -15 ... - 20 °С є перехідною і її не можна рекомендувати як температуру припинення заморожування, в ній відбувається різке збільшення коефіцієнта теплопровідності, що на перший погляд пов'язано з підвищенням теплопровідності замерзаючих структур плода. У той же час в клітинах залишається незамерзла волога.

Четверта зона від -20ºС до -45ºС є зоною виходу на пологий ділянку зміни коефіцієнта теплопровідності. У цій зоні закінчуються основні процеси кристалізації і структуризації замерзлого плоду. Цю зону можна рекомендувати як зону припинення заморожування. При виході на пологу ділянку коефіцієнта теплопровідності в зону термодинамічної стійкості зниження температури можна припинити.

В таблиці 1 показано приклад відповідності зон теплової обробки зонам локально-стабільних значень коефіцієнта теплопровідності для кукурудзи молочної стиглості, перцю солодкого, баклажанів і кабачків.

Таблиця 1

**Значення коефіцієнтів теплопровідності для кукурудзи молочної стиглості, солодкого перцю, баклажанів і кабачків у різних зонах теплової і холодильної обробки**

| Зони теплової і холодильної обробки | Температура, $^0$С | Коефіцієнт теплопровідності (Вт/(м·К)): | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Кукурудза | Перець | Баклажани | Кабачки |
| Стерилізація | + 88 ... + 98 | 0,623 | 0,691 | 0,672 | 0,385 |
| Пастеризація | + 78 ... + 74 | 0,612 | 0,668 | 0,657 | 0,356 |
| Тривала пастеризація | +63 ... + 65 | 0,591 | 0,651 | 0,643 | 0,263 |
| Короткочасне зберігання в холодильних камерах | + 2 .+ 8 | 0,241 | 0,274 | 0,248 | 0,216 |
| Тривале холодильне зберігання - | 30 . -45 | 1,385 | 1,585 | 1,673 | 1,805 |
| Дуже тривале холодильне зберігання | -63-196 | 2,541 | 2,654 | 2,736 | 2,948 |

***Висновки та перспективи***. Проведені теоретичні та експериментальні дослідження показують, що значення коефіцієнтів теплопровідності як функції від температури дозволяють використовувати їх для контролю теплової і холодильної обробки плодоовочевої продукції в різних зонах на усьому інтервалі температур підготовки плодоовочевої продукції до довготривалого зберігання. Отримані аналітичні залежності та емпіричні коефіцієнти можуть бути використані для розрахунку технологічних ліній заморожування плодовоовочевої продукції.

**Список використаних джерел**

1. Оптимізація технології заморожування плодоовочевої продукції: монографія / *В. Ф. Ялпачик* та ін. Мелітополь: Видавничий будинок ММД, 2018. 198 с.

2. *Дідур В. А., Стручаєв М. І.* Теплотехніка, теплопостачання і використання теплоти в сільському господарстві : навч. посібник / за ред. В. А. Дідура. Київ: Аграрна освіта, 2008. 233 с.

3. *Ялпачик В. Ф., Стручаєв М. І., Тарасенко В. Г.* Експериментальне визначення коефіцієнта теплопровідності при заморожуванні. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 17, т. 1: Технічні науки. С. 113-118.

4. *Стручаев Н. И.* Определение количества теплоты при замораживании и размораживании. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. Харків, 2015. Вип. 165, т. 2. С.130-131.

5. Спосіб контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 64569А Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № 2003 065955; заявл. 26.06.2003; опубл. 16.02.2004, Бюл. № 2.

6. Скануючий пристрій для контролю якості плодової та овочевої продукції: пат. 68041А Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № 2003 098145; заявл. 01.09.2003; опубл. 15.07.2004, Бюл. № 7.

7. Пристрій визначення тиску для контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 41466 Україна: МПК (2009): G01N 7/00. № u200814326; заявл. 12.12.2008; опубл. 25.05.2009. Бюл. № 10.

8. Пристрій експрес-оцінки якості замороженої плодової та овочевої продукції: пат. 86725 Україна: МПК G01N33/02 (2006.01). № u201308240; заявл. 01.07.2013; опубл. 10.01.2014. Бюл. № 1.

9. Спосіб контролю якості плодоовочевої продукції: пат. 95793 Україна: МПК (2011.01): G01N7/00. № a200810600; заявл. 22.08.2008; опубл. 12.09.2011. Бюл. № 17.

10. Пристрій для вимірювання бічного тиску: пат. 122060 Україна, МПК G01B 5/30 (2006.01). № u 2017 06640; заявл. 27.06.2017; опубл. 26.12.2017, Бюл. № 24.

11. Вимірювальний осередок для пристрою визначення коефіцієнта теплопровідності сільгосппродукції: пат. 122065 Україна, МПК G01N 33/02 (2006.01). № u 2017 06656; заявл. 27.06.2017; опубл. 26.12.2017. Бюл. № 24.

12. *Ялпачик В., Стручаев Н., Тарасенко В.* Обоснование толщины подмороженного слоя кусочков кабачков и тыквы в процессе подготовки к длительному хранению в замороженном виде. *MOTOROL*. Lublin, 2008. Т. 10 А. С. 187-190.

## ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПАРАМЕТРЫ - КРИТЕРИЙ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПЛОДООВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

Стручаев Н.И., Постол Ю.А.

***Аннотация*** – работа посвячена теоретическим и экспериментальным исследованиям возможности использования значений коэффициентов теплопроводности в зависимости от температуры для контроля тепловой и холодильной обработки плодоовощной продукции в различных зонах подготовки плодоовощной продукции к долговременному хранению. Проведенные нами исследования в интервале температур: от + 100ºС до -195,75ºС (в жидком азоте), показали, что изменение коэффициента теплопроводности различных плодов и овощей от температуры имеют сходный характер и описывается предложенной нами формулой.

Полученные аналитические зависимости и эмпирические коэффициенты могут быть использованы для расчета технологических линий замораживания плодоовощной продукции.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, тепловая и холодильная обработка, плодоовощная продукция.

# THERMOPHYSICAL CHARACTERISTICS AND PARAMETERS - CRITERION OF QUALITY CONTROL OF FROZEN PRODUCTION

Struchaiev N., Postol Y.

## Summary

The work is devoted to theoretical and experimental studies of the possibility of using the values of thermal conductivity coefficients depending on temperature to control the heat and refrigeration processing of fruits and vegetables in various zones over the entire temperature range of preparation of fruits and vegetables for long-term storage. In the implementation of technological processes associated with the use of heat and refrigeration processing, the determination of thermophysical characteristics and parameters, such as temperature, pressure, and thermal conductivity, takes an important place. The task is to investigate the correspondence of locally stable values of thermophysical characteristics and parameters of fruits and vegetables at positive and negative temperatures to various types of heat and refrigeration processing to prepare fruits and vegetables for long-term storage.

Our studies have shown that the change in the thermal conductivity of various fruits and vegetables from temperature is similar in nature, for them the dependence of the thermal conductivity on temperature is described by our formula.

Thanks to our study of the coefficient of heat conductivity of fruit and vegetable products in a wide range: from + 100ºC to minus 195.75ºC (in liquid nitrogen), we can conclude that there are several heat treatment zones in which there are locally stable values of heat conductivity coefficients, corresponding to the technological requirements zones of the methods of heat and refrigeration processing for the preparation of fruit and vegetable products for long-term storage.

An example of the correspondence of heat treatment zones to zones of locally stable values of the coefficient of thermal conductivity for dairy maize, sweet pepper, eggplant and zucchini is given. The obtained analytical dependences and empirical coefficients can be used to calculate technological lines for freezing fruit and vegetable products.

**Keywords:** coefficient of thermal conductivity, heat and ho-bedding processing, fruit and vegetable production**.**

**УДК 637.133.3** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-52**

# УМОВИ ЕФЕКТИВНОГО ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ ОПТИЧНОГО ДІАПАЗОНУ ДЛЯ ОБРОБКИ КАЛАМУТНИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ РІДИН

**Жила В. І., к. т. н.** **https://orcid.org/0000-0002-5636-794X**
*Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка*
Тел.: 099 284 79 11

***Анотація*** – молоко відноситься до рідин з малою оптичною проникністю (до 2 мм), а тому для підвищення ефективності обробки застосовують премішування та примусову турбулізацію. При створенні апаратів заданої продуктивності для обробки каламутних багатокомпонентних рідин енергією електромагнітного випромінювання важливо забезпечити одночасне та рівномірне його проникнення в середовище на контрольовану глибину.

У статті висвітлені умови підвищення ефективності використання ененргії електромагнітного випромінювання в технологічних процесах обробки рідин з тонким оптично прозорим шаром за допомогою турбулізації руху. Товщина ламінарного прошарку біля розділяючої стінки з кварцового скла вже при турбулентності $Re$=10000 в.о. не перевищує $3\cdot10^{-3}$мм, що практично не впливає на проникність та зменшення інтенсивності випромінювання з довжиною хвилі більшою 400 нм. Зважаючи на квантову природу поглинання електромагнітної енергії клітинами встановлено, що час перебування елементарного об'єму рідини в області ефективного опромінення складає ≈ 60% від загального терміну опромінювання. Зі збільшенням швидкості потоку, збільшується його турбулентність та ефективність оптичної обробки молока.

Залежно від ефективної довжини хвилі випромінювача, дози та площі опромінення визначається інтенсивність випромінювання і встановлена електрична потужність пристрою. Крім того, проведені теоретичні дослідження дають змогу визначити продуктивність і розміри оптичного модуля, гідравлічні втрати потоку рідини та вибрати молочний насос для даної технології.

***Ключові слова:*** турбулентний режим руху, гідравлічний радіус, ламінарний прошарок, турбулентне ядро, «динамічна швидкість», елементарний об'єм потоку, кільцевий канал.

**Постановка проблеми.** Конкурентоздатність харчових, у тому числі молочних, продуктів поряд зі смаковими якостями та товарним виглядом залежить від тривалості терміну зберігання. Для виробництва молочних продуктів тривалого зберігання необхідна перш за все високоякісна сировина. Проблема «сирого» молока чи зібраного від сільського населення, як відомо, в першу чергу вирішується зменшенням його мікробіологічної забрудненості

© Жила В. І.

завдяки подальшій технологічній обробці: очищенню від механічних домішок, знищення мікрофлори. На практиці зниження забруднення мікрофлорою досягається декількома способами: фільтрацією чи центрофугуванням, обробкою теплом або холодом, ультрафіолетовим випромінюванням тощо [1].

Як показує аналіз літературних джерел, застосування існуючих технологій знезаражування впливає на погіршення смакових якостей молока, несе значні енерговитрати або вимагає складного дороговартісного обладнання [2-4].

**Аналіз останніх досліджень.** Традиційні технології передбачають нагрівання продукту до певних температур, витримку для інактивації мікроорганізмів та подальше охолодження при зберіганні. Основні способи традиційної обробки представлені на рис. 1.




Рис. 1. Традиційні способи знешкодження патогенної мікрофлори та подовження термінів зберігання молока

Загальним недоліком традиційних способів є:

- погіршення смаку та розчеплення цінних речовин при обробці;
- низька енергетична ефективність при інактивації, тобто для знищення відносно малої маси мікроорганізмів доводиться нагрівати до високих температур увесь об’єм продукту впродовж певного часу;
- необхідність стерилізації тари та створення асептичних умов при розливанні і фасуванні;
- охолодження молока для його подальшого транспортування і зберігання;
- втрати продукту при виході на режим та завершенні процесу знезаражування.

Застосування альтернативних способів обробки молока підвищує енергоефективність процесу, зменшує негативний вплив на біологічну цінність продукту, але, переважно, вимагає складного

дороговартісного обладнання чи має обмеження по продуктивності. Основні способи альтернативної обробки представлені на рис. 2 [5].




Рис. 2. Альтернативні способи знешкодження патогенної мікрофлори та подовження термінів зберігання молока

Для підвищення енергоефективності при знезаражуванні молока застосовуються проточні установки, які забезпечують утилізацію тепла, герметизацію потоку від впливу оточуючого середовища та високу динаміку змін температур. При цьому необхідно врахувати особливості руху потоку та обгрунтувати його гідравлічні параметри. Необхідність такого дослідження виникає і при вирішенні задач ефективного опромінення біологічних рідин з малою оптичною проникністю.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Теоретичне обгрунтування параметрів руху молока для забезпечення ефективного використання енергії електромагнітного випромінювання при його обробці.

**Основна частина.** Відомо, що здатність проникання ультрафіолетових променів з довжиною хвилі 254 нм через шар молока не превищує 40 мкм, а в діапазоні 165 – 185 нм від 80 до 120 мкм [6]. Тому, для підвищення ефективності обробки застосовують премішування та примусову турбулізацію.

Відомо, що сили в'язкості суттєво впливають на величину і розподіл швидкостей рідини, тобто на самі умови руху. Режим руху при якому рідина рухається шарами з однією швидкістю, тобто не змішується, є ламінарним і навпаки, хаотичний рух, при якому відбувається змішування струменів рідини – турбулентним [7].

Режим руху визначається числом Рейнольдса $Re$:

$$\mathrm{Re}_d = \frac{V \cdot d}{\nu} \quad , \tag{1}$$

або

$$\mathrm{Re}_R = \frac{V \cdot R}{\nu} \quad ,$$

де $\mathrm{Re}_d$ - число Рейнольдса, віднесене до гідравлічного діаметра, в.о.;

$\mathrm{Re}_R$ - число Рейнольдса, віднесене до гідравлічного радіусу, в.о.;

$d$ – гідравлічний діаметр, в.о.;

$R$ – гідравлічний радіус, в.о.;

$V$ - середня швидкість, м/с;

$\nu$ - кінематична в'язкість рідини, м$^2$/с.

Гідравлічний радіус $R$ є відношенням площі живого перерізу потоку до довжини змоченого периметру

$$R = \frac{\omega}{\chi} \tag{2}$$

де $\omega$ - площа живого перерізу потоку рідини, м$^2$;

$\chi$ - змочений периметр, або периметр живого перерізу, де рідина дотикається до стінок русла, м.

Існує критичне число Рейнольдса, при якому ламінарний рух рідини переходить до турбулентного з різною ступінню турбулізації, зокрема

$\mathrm{Re}_{dкк.} = 2000 \div 2320$, чи $\mathrm{Re}_{Rкк.} = 500 \div 580$,

тобто, при збільшенні числа Рейнольдса турбулентність збільшується, а при зменшенні потік переходить до ламінарного режиму руху [7]. З наведенних залежностей маємо

$$\mathrm{Re}_{dкк.} / \mathrm{Re}_{Rкк.} = 4 \tag{3}$$

Зважаючи на обмежену глибину проникнення випромінювання в молоко, для забезпечення рівномірної дози опромінення елементарного об'єму потоку, необхідно розрахувати відповідний режим руху рідини в каналі. При турбулентному режимі руху відбувається активне змішування, що забезпечує попадання всіх складових потоку рідини в область активної дії променів.

Відомо, що в турбулентному потоці утворюються дві відмінні за структурою області. Безпосередньо біля стінки каналу виникає ламінарний прошарок або область в'язкого руху. Інша частина потоку являє собою турбулентне ядро.

Товщина ламінарного прошарку визначається за формулою [7]:

$$\delta_{лш.} = \frac{N \cdot \nu}{u_*}, \quad (4)$$

де $N$ - безрозмірне число, яке за даними Нікурадзе та інших авторів складає 10÷ 11,1;

$\nu$ - кінематична в'язкість рідини, м$^2$/с;

$u_*$ - динамічна швидкість або швидкість тертя, м/с.

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \quad (5)$$

де $\tau_0$ - дотичні напруження на стінках русла в межах ламінарного прошарку, Н/м$^2$;

$\rho$ - густина рідини, кг/м$^3$.

Дотичні напруження на стінках «правильного русла», тобто такого, що може мати круглий, квадратний, прямокутний, трапецеподібний, параболічний та інші перерізи за умови, що змочена поверхня русла має однакову шорсткість [8], визначається емпіричною залежністю

$$\tau_0 = \frac{\rho \cdot \lambda \cdot V^2}{8}, \quad (6)$$

де $\lambda$ – гідравлічний коефіцієнт тертя, в.о.

З урахуванням формул (5), (6) та при середньому значенні $N$ =10,6 товщина ламінарного прошарку дорівнює

$$\delta_{л.ш.} = \frac{30d}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}} = \frac{120R}{\mathrm{Re}\sqrt{\lambda}}. \quad (7)$$

Для визначення гідравлічного коефіцієнту тертя $\lambda$ найбільше розповсюдження отримала формула Блаузіса для гідравлічно гладеньких русел (пластикових труб) [8]:

$$\chi = \frac{0{,}3164}{\mathrm{Re}^{\frac{1}{4}}}, \quad (8)$$

де Re – число Рейнольдса, в.о.

Число Рейнольдса для каналу довільного перерізу визначається із співвідношення:

$$\mathrm{Re} = \frac{4 \cdot V \cdot R}{\nu}. \quad (9)$$

В свою чергу гідравлічний радіус $R$ дорівнює:

- для круглої труби $R = \frac{1}{2} r_T$, (10)

де $r_T$ – радіус труби, м;

- для кільцевого каналу $R = \frac{(r_{вТз} - r_{зТв})}{2}$,

де $r_{вТз}$ - внутрішній радіус зовнішньої труби, м;

$r_{зТв}$ - зовнішній радіус внутрішньої труби, м.

Від швидкості руху при постійному перерізі потоку залежить його турбулентність, тобто

$$V = \frac{\nu \cdot \mathrm{Re}}{4R}. \quad (11)$$

Зважаючи на те, що динаміка зменшення товщини ламінарного прошарку уповільнюється при збільшенні турбулентності понад Re = 20000, обчислимо швидкість руху потоку молока при Re = 10000, 15000, 20000. Відповідно

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (12)$$

де $\mu$ - динамічний коефіцієнт в'язкості, (для молока $\mu_{20^0C}$ = 1,1-2,5·10$^{-3}$, Н·с/м$^2$);

$\rho$ - густина молока, 1028 кг/м$^3$.

Продуктивність каналу $Q$ залежить від площі живого перерізу потоку та швидкості руху $V$

$$Q = \omega \cdot V, \quad (13)$$

де $Q$ – продуктивність каналу, м$^3$/с;

$\omega$ – площа «живого перерізу», потоку, м$^2$.

Підставивши (11) в (13), отримаємо:

$$Q = \frac{\omega \cdot \nu \cdot \mathrm{Re}}{4R}. \quad (14)$$

Для визначення швидкості поперечного переміщення елементарного об'єму потоку рідини, при його змішуванні в турбулентному ядрі скористаємося залежністю «динамічної швидкості» $u_*$, [9]

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}, \quad (15)$$

де $u_*$ - «динамічна швидкість», м/с;

$\tau_0$ - динамічні напруження на стінках каналу, Н/м$^2$;

$\rho$ - густина молока, кг/м$^3$.

Підставивши в (15) вираз (6), отримаємо

$$u_* = \sqrt{\frac{\rho \cdot \lambda \cdot V^2}{8\rho}} = \frac{1}{2} V \sqrt{\frac{\lambda}{2}}. \qquad (16)$$

З конструктивних міркувань приймаємо відповідні розміри трубок 1, 9 (Рис. 3) та проводимо розрахунок, результати заносимо до табл. 1.

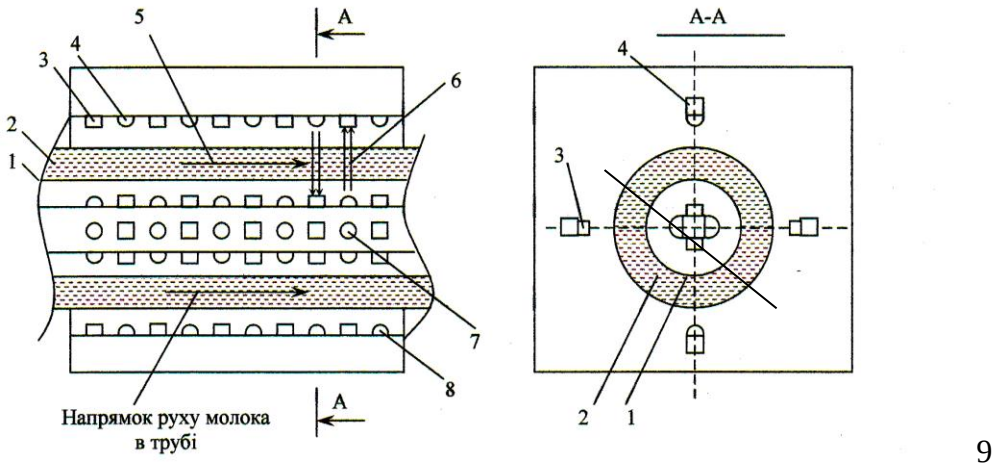



Рис. 3. Пристрій для знезаражування молока: 1 – внутрішня кварцова трубка, 2 – молоко, 3 – фотодатчик, 4, 7, 8 – лазери, 5 – потік молока, 6 – лазерні промені, 9 – зовнішня трубка

Аналізуючи результати розрахунків, наведених у табл. 1, приймаючи глибину ефективного опромінення, наприклад, 1,5 мм та змінюючи швидкість руху потоку молока, маємо:

- зростає турбулентність (змішуваність) рідини від стінок до ядра (від $\mathrm{Re} = 10000$ до 20000 в.о.;
- збільшується продуктивність каналу (від 1,68 м$^3$/год до 3,37 м$^3$/год);
- зменшується товщина ламінарного пристінного прошарку (від 0,003 до 0,00126 мм);
- збільшується «динамічна швидкість» потоку (від 0,075 до 0,138 м/с).

Крім того, при середній швидкості руху молока в кільцевому каналі $V$, та двосторонньому опроміненні, елементарний об'єм потоку мінімум $2\frac{u_*}{h} = n$ разів проходить через область ефективного опромінення (де $h$ – ширина каналу), тобто :

- при турбулентності $\mathrm{Re} = 10000$ - 2·(0,075/0,005) =30 разів;
- при турбулентності $\mathrm{Re} = 15000$ - 2·(0,108/0,005)=43 рази;
- при турбулентності $\mathrm{Re} = 20000$ - 2·(0,138/0,005)=55 разів.

Таблиця 1

**Параметри руху потоку молока в кільцевому каналі проточного модуля для опромінювання**

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1. | Внутрішня скляна трубка, $\frac{d_з}{d_{вн}}$, мм | 20/15 | | | 25/20 | | | 30/24 | |
| 2. | Зовнішня скляна трубка, $\frac{d_з}{d_{вн}}$, мм | 35/30 | | | 40/35 | | | 46/40 | |
| 3. | Товщина стінки, мм | 2,5 | | | 2,5 | | | 3,0 | |
| 4. | Площа живого перерізу $\omega$, м$^2$ | 3,9·10-4 | | | 4,71·10-4 | | | 5,5·10-4 | |
| 5. | Число Рейнольдса Re, в.о. | $10^4$ | $1{,}5\cdot10^4$ | $2{,}0\cdot10^4$ | $10^4$ | $1{,}5\cdot10^4$ | $2{,}0\cdot10^4$ | $10^4$ | $1{,}5\cdot10^4$ | $2{,}0\cdot10^4$ |
| 6. | Швидкість, (11), м/с | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 1,2 | 1,8 | 2,4 | 1,2 | 1,8 | 2,4 |
| 7. | Продуктивність(13) , л/с | 0,468 | 0,702 | 0,936 | 0,565 | 0,848 | 1,13 | 0,66 | 0,99 | 1,32 |
| 8. | Товщина ламінарного прошарку, х $10^{-3}$, мм | 3 | 1,8 | 1,26 | 3 | 1,45 | 1,26 | 3 | 1,8 | 1,26 |
| 9. | Гідравлічний коефіцієнт тертя, $\lambda$, в.о. | 0,0316 | 0,0286 | 0,0266 | 0,0316 | 0,0286 | 0,0266 | 0,0316 | 0,0286 | 0,0266 |
| 10. | Динамічна швидкість (15), м/с | 0,075 | 0,108 | 0,138 | 0,075 | 0,108 | 0,138 | 0,075 | 0,108 | 0,138 |

Максимальний час одноразового перебування елементарного об'єму потоку в області ефективного опромінення складає:

при турбулентності Re = 10000 - $t = \frac{L_{еф.}}{u_*} = 1.5\cdot10^{-3}: 0{,}075 = 0{,}02$ с,

при турбулентності Re = 15000 - $t = \frac{L_{еф.}}{u_*} = 1.5\cdot10^{-3}: 0{,}108 = 0{,}0139$ с,

при турбулентності Re = 20000 - $t = \frac{L_{еф.}}{u_*} = 1.5\cdot10^{-3}: 0{,}138 = 0{,}011$ с,

де $t$ - час одноразового перебування елементарного об'єму потоку рідини в області ефективного опромінення, с;

$L_{еф.}$ - товщина області ефективного опромінення, м; $u_*$ - «динамічна швидкість» потоку.

За 1 с руху потоку елементарний об’єм перебуватиме в області ефективного опромінення ≈ 0,6 с при турбулентності Re = 10000, 15000 чи 20000.

Враховуючи, що час поглинання клітиною фотону складає ≈ $10^{-14}$ с, тривалість перебування елементарного об’єму потоку рідини в області ефективного опромінення достатня для забезпечення процесу передачі електромагнітної енергії мікроорганізму.

Знаючи дозу опромінення для активізації чи пригнічення мікрофлори, глибину проникання променів у рідину, неважко визначити розміри каналу, параметри руху потоку, а також загальні дані випромінювальної установки, зокрема: продуктивність, інтенсивність випромінювання, встановлену електричну потужність та габарити. При застосуванні імпульсного лазера необхідно додатково врахувати частоту імпульсів випромінювання.

Для визначення втрат напору $h_\omega$ молока в трубопроводі при відомих: швидкості руху $V$, гідравлічному радіусі $R$, довжині $L$, гідравлічному коефіцієнті тертя $\lambda$, скористаємося першою водопровідною формулою [9]:

$$h_\omega = \lambda \frac{LV^2}{d^2 g}, \qquad (17)$$

де $d = 4R$ – діаметр молокопроводу, м;

$R$ – гідравлічний радіус,м;

$g$ – прискорення земного тяжіння, м$^2$/с.

**Висновки**. Проведені теоретичні дослідження визначають параметри руху потоку рідини, геометрію та розміри каналу енергообміну, тривалість перебування елементарного об’єму в області ефективного опромінення, а також загальні характеристики опромінювальної установки, зокрема: інтенсивність випромінювання, встановлену електричну потужність та габарити відповідно дозі опромінення, глибині проникання променів до продукту, що дозволяє забезпечити ефективне використання енергії електромагнітного випромінювання оптичного діапазону при обробці рідин з малою оптичною проникністю.

**Список використаних джерел**

1. *Жила В. І.*, *Лисиченко М. Л.* Лазерна установка для подовження терміну зберігання молока. *Актуальні проблеми автоматики та приладобудування:* матеріали II Міжнар. наук.-техн. конф. (м. Харків, 06-07 грудня 2018 р.). Харків, 2018. С. 70-71.

2. *Ковалев Ю. Н.* Установки для пастеризации молока. Москва: Россельхозиздат, 1981. 80 с.

3. *Крусь Н. А*. Технология производства молока и молочных продуктов. Москва: Колос, 2004. 386 с.

4. *Бредихин С. А., Космодемьянский Ю. В., Юрин В. Н.* Технология и техника переработки молока. Москва: Колос, 2003. 400 с.

5. *Лисиченко М. Л., Жила В. І., Піскун В. І.* Установки для пастеризації молока. *Вісник ХНТУСГ. Сер. Технічні науки*. Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення на енергозбереження в АПК України. С. 97-101.

6. Способ обработки молока ультрафиолетовым излучением: пат. 2263450 Рос. Федерация: МКИ A23C 3/07, A23L 3/18. Заявл. 25.02.2004; Опубл. 10.11.2005, Бюл. № 31.

7. Справочник по гидравлике / под ред. В. А. Большакова. Киев: Высшая школа, 1984. 343 с.

8. Турбулентность, принципы и применение: пер. с англ./ под ред. У. Фроста, Т. Моулдена. Москва: Мир, 1980. 536 с.

9. Угинчус А. А. Гидравлика и гидравлические машины. Харьков, 1970. 296 с.

## УСЛОВИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ОПТИЧЕСКОГО ДИАПАЗОНА ДЛЯ ОБРАБОТКИ МУТНЫХ МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ЖИДКОСТЕЙ

**Жила В. И.**

***Аннотация*** - молоко относится к жидкостям с незначительной оптической проницаемостью (до 2 мм), поэтому для повышения эффективности обработки применяют перемешивание и принудительную турбулизацию. При создании аппаратов заданной продуктивности для обработки мутных многокомпонентных жидкостей энергией электромагнитного излучения важно обеспечить одновременное и равномерное его проникновение в среду на контролируемую глубину.

В статье освещены условия повышения эффективности использования энергии электромагнитного излучения в технологических процессах обработки жидкостей с тонким оптически прозрачным слоем с помощью турбулизации движения. Толщина ламинарной прослойки возле разделяющей стенки из кварцевого стекла уже при турбулентности $Re$=10000 о.е. не превышает $3 \cdot 10^{-3}$мм, что практически не влияет на проницаемость и уменьшение интенсивности излучения с длинной волны более 400 нм. Учитывая квантовую природу поглощения электромагнитной энергии клетками установлено, что время пребывания элементарного объема жидкости в области эффективного облучения составляет ≈ 60% от продолжительности общего облучения. С возрастанием скорости потока, увеличивается его турбулентность и эффективность оптической обработки молока.

В зависимости от эффективной длинны волны излучателя, дозы и площади облучения определяется интенсивность излучения и установленная электрическая мощность устройства. Кроме того, проведенные теоретические исследования

дают возможность определить продуктивность и размеры оптического модуля, гидравлические потери потока жидкости и выбрать молочный насос для данной технологии.

***Ключевые слова:*** турбулентный режим движения, гидравлический радиус, ламинарный подслой, турбулентное ядро, динамическая скорость, элементарный объем потока, кольцевой канал.

## THE CONDITIONS OF EFFICIENT USE OF ELECTROMAGNETIC RADIATION OF OPTICAL RANGE OF ENERGY FOR THE PROCESSING OF KALAMUTE MULTIPLE COMPONENT LIQUIDS

**V. Zhyla**

***Summary***

Milk refers to liquids with low optical permeability (up to 2 mm), and therefore, stirring and forced turbulence are used to improve processing efficiency. When creating the devices of the given productivity for processing muddy multicomponent liquids with the energy of electromagnetic radiation it is important to ensure simultaneous and uniform penetration of the medium into controlled depths.

The article outlines the conditions for increasing the efficiency of the use of electromagnetic radiation energy in the technological processes of processing liquids with a thin, optically transparent layer by means of turbulent motion. Considering the velocity of the liquid flow as a factor of turbulence change (mixing), the necessary parameters were determined to ensure uniform optical processing of milk in the annular channel with bilateral irradiation. In particular, the thickness of the laminar layer near the separating wall of quartz glass is already at turbulence Re = 10000 cu does not exceed 3 · 10-3 mm, which practically does not affect the permeability and decrease the intensity of radiation with a wavelength greater than 400 nm. Given the quantum nature of the absorption of electromagnetic energy by cells, it has been established that the residence time of the elemental volume of liquid in the region of effective irradiation is ≈ 60% of the total radiation time. With increasing flow velocity, it increases its turbulence and efficiency of optical milk processing.

Depending on the effective wavelength of the emitter, the dose and irradiation area determine the intensity of the radiation and establish the electrical power of the device. In addition, the theoretical studies have made it possible to determine the performance and size of the optical module, the hydraulic fluid flow losses, and select a milk pump for this technology.

***Key words:*** turbulent motion, hydraulic radius, laminar layer, turbulent core, "dynamic velocity", elemental flow volume, ring channel.

**УДК 621.313.82** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-53**

# ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ЗІ ВСИПНИМИ ОБМОТКАМИ ПРИ ТЕПЛОВОЛОГОМУ СТАРІННІ

**Чумак В. В., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-8401-7931**
**Монахов Є. А., інженер, https://orcid.org/0000-0001-8408-8051**
**Вишневський О. В.*, аспірант, https://orcid.org/0000-0001-7814-9030**
**Стулішенко А. С., інженер https://orcid.org/0000-0001-9982-9246**
*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»*
e-mail: chumack_kpi@ukr.net

***Анотація –*** експлуатація електричних машин з пошкодженнями в силовому електричному ланцюзі статора двигуна призводить до асиметрії заряду фазного струму двигуна, збільшення втрат нагріву в окремих фазах, виникнення змінних складових електромагнітного моменту і споживаної потужності.

Обмотка статора електродвигуна складається з декількох статорних стрижнів і лобових частин. Завдяки складній структурі обмотки і сталевому сердечнику загасання і спотворення імпульсу, що передається через обмотку, є складними і залежними від частоти. Аналіз, представлений у цій главі, може бути застосований до інших обертових машин, таких як двигуни низької напруги.

В даній статті представлено аналіз частотних характеристик низьковольтних електричних машин зі всипними обмотками з урахуванням процесів послідовної руйнації ізоляційної конструкції впливом тепло-вологих циклів. Показано, що частотні характеристики можуть бути узагальненим параметром стану ізоляції в умовах періодичного відстеження якості ізоляції при регламентних ревізіях. Доведено, що частотні характеристики, які зняті в режимах холостого ходу та короткого замикання мають діагностичні ознаки рівня руйнації ізоляції при зволоженні, які полягають в зміщенні екстремумів характеристик в область більш низьких частот, а також зменшення площі під кривою між мінімальними і максимальними екстремумами характеристики.

***Ключові слова:*** високочастотні процеси, високочастотний, вхідний опір, електричні машини зі всипними обмотками, ємність.

**Постановка проблеми.** Робота електричної машини зі зволоженою зістареною ізоляцією призводить до її швидкого руйнування і є небезпечною через більшу вірогідність аварійної відмови, тому проблема оцінки стану зволоження зістареної ізоляції є актуальною та потребує створення нових способів визначення ступеню можливості її подальшої експлуатації. Значний вплив на стан ізоляційної конструкції має зволоження ізоляції при змінах

© Чумак В. В., Монахов Є. А., Вишневський О. В., Стулішенко А. С.
Науковий керівник – Чумак В. В., к.т.н., доцент

кліматичних умов. Для нової ізоляції ця проблема стоїть не так гостро, порівняно зі зволоженням зістареної ізоляції.

Розвиток дефекту ізоляції відбувається під впливом зволоження, термічних руйнувань, механічних пошкоджень, електричного поля робочої напруги і перенапруги, забруднень і т. п.

Попадання вологи зазвичай пов'язано зі зміною температурних умов. Процес утворення дефекту і руйнування ізоляції протікає спочатку досить повільно і лише на останніх стадіях має стрибкоподібний характер, закінчуючись коротким замиканням, вибухом і руйнуванням ізолятора. Іноді волога встигає випаруватися під дією тепла, що виділяється. Якщо при цьому не утворилося провідного каналу, процес розвитку дефекту може призупинитися, але якщо утворився провідний канал ізоляції буде завдано необерненої шкоди.

**Аналіз останній досліджень.** Методи діагностики електричних машин широко досліджувались раніше [1-4]. Найбільш розповсюдженими є методи неруйнівного контролю технічного стану ізоляції. Запропоновані методи діагностики не дають змоги неруйнуючого контролю ізоляції і часто вимагають занадто багато вимірювань або розбирання електричної машини. Метод аналізу запропонований в даній статті спирається на аналіз частотних характеристик електричних машин. При знятті частотних характеристик на клеми двигуна подається низька напруга 5-10 В, яка є безпечною для ізоляції.

**Формулювання цілей статті.** Аналіз частотних характеристик електричних машин в залежності від зміни стану ізоляції.

**Основна частина.** Попередні випробування, необхідні для визначення режимів пришвидшених випробувань, проводять з ціллю отримання залежності контрольованих параметрів з часом при заданому рівні кліматичних факторів[5].

Для забезпечення пришвидшеного впливу на ізоляцію були прийняті наступні умови тепловологоговпливу – 100% вологість при температурі $100^0$ С (в середовищі насиченої пари протягом 8 годин с наступним охолодженням до $20^0$ і вільною конденсацією вологи на поверхні відкритої машини протягом 16 годин).

Як показали досліди вибраний термін випробування приводить конструкцію в граничний стан. Подальше збільшення часу тепловологого впливу не позначається параметрах системи, т. я. вона приходить в граничний стан.

В подальшому машина переводиться в режим сушіння(інтенсивної теплової взаємодії і старіння). Для ізоляції класу F вибраний режим сушки при температурі $165^0$ протягом 2 годин. Нагрів обмотки проводився постійним випрямленим струмом.

**Результати досліджень.** Частотні характеристики знімались для різних схем підключення двигуна, перша – холостий хід – рисунок 1(а), друга – коротке замикання – рисунок 1(б).

Зняті частотні характеристики двигуна 4А80А4 після одного циклу зволоження, після восьми циклів і початкова характеристика рисунок 2 і рисунок 3.

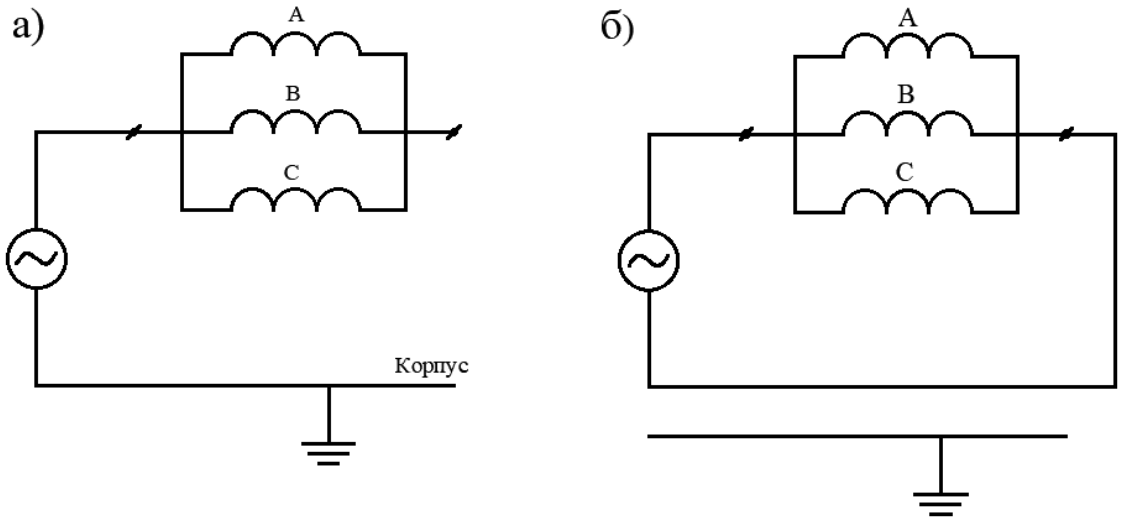



Рис. 1. а) Схема підключення на ХХ б) Схема підключення на КЗ

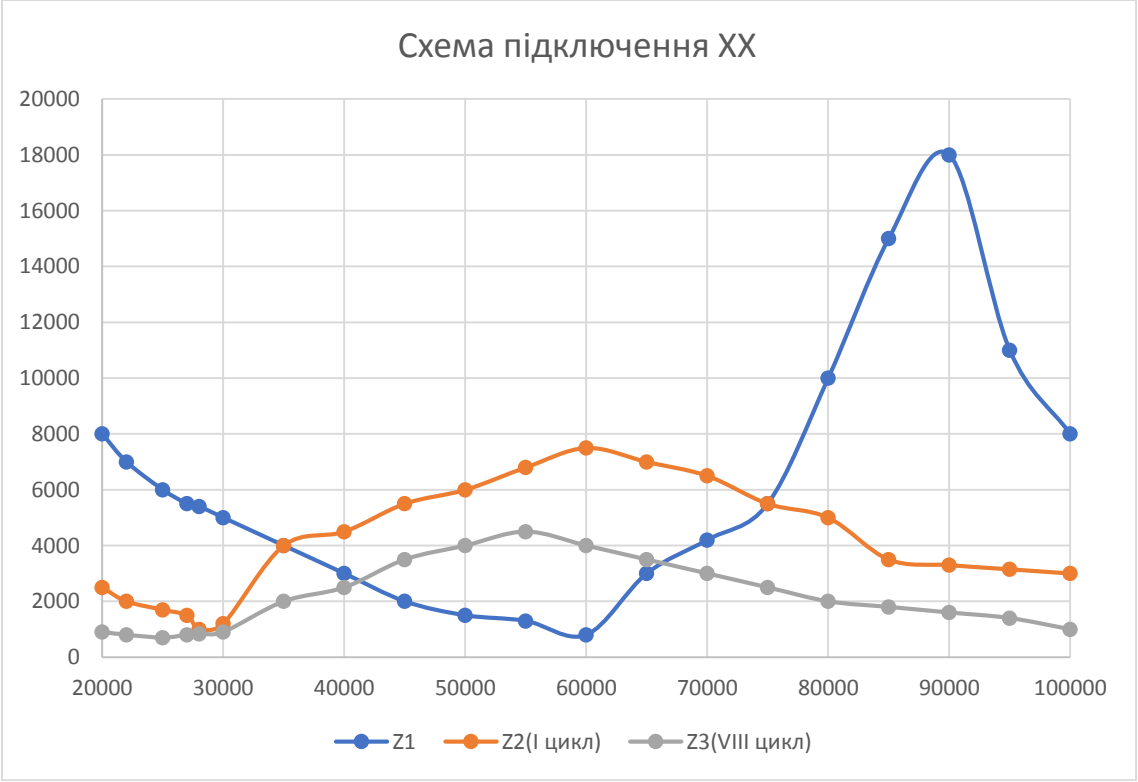



Рис. 2. Частотні характеристики двигуна зняті по схемі ХХ

Як видно з наведеного графіку характеристика Z(f) для сухої нової ізоляції ( крива 1) має високе значення опору при резонансному

екстремумі, а також високу частоту резонансного піку. Це свідчить про те, що опір ізоляції обмотки відносно корпусу високий, що відповідає якісній ізоляції. Висока частота резонансного піку свідчить про те, що ємність ізоляції (в першу чергу поперечна) відносно мала, що відповідає відсутності вологості в ізоляційній конструкції.

Проаналізувавши графік, знятий після першого циклу зволоження, зроблено наступні висновки – значення опору при резонансному екстремумі значно зменшилось, що свідчить про зменшення опору ізоляції, а значення частоти резонансного піку свідчить про збільшення ємності ізоляції.

Третій графік, знятий після 8 циклів зволоження, дає схожі результати, частота і опір резонансного піку зменшується, але вже не так суттєво.

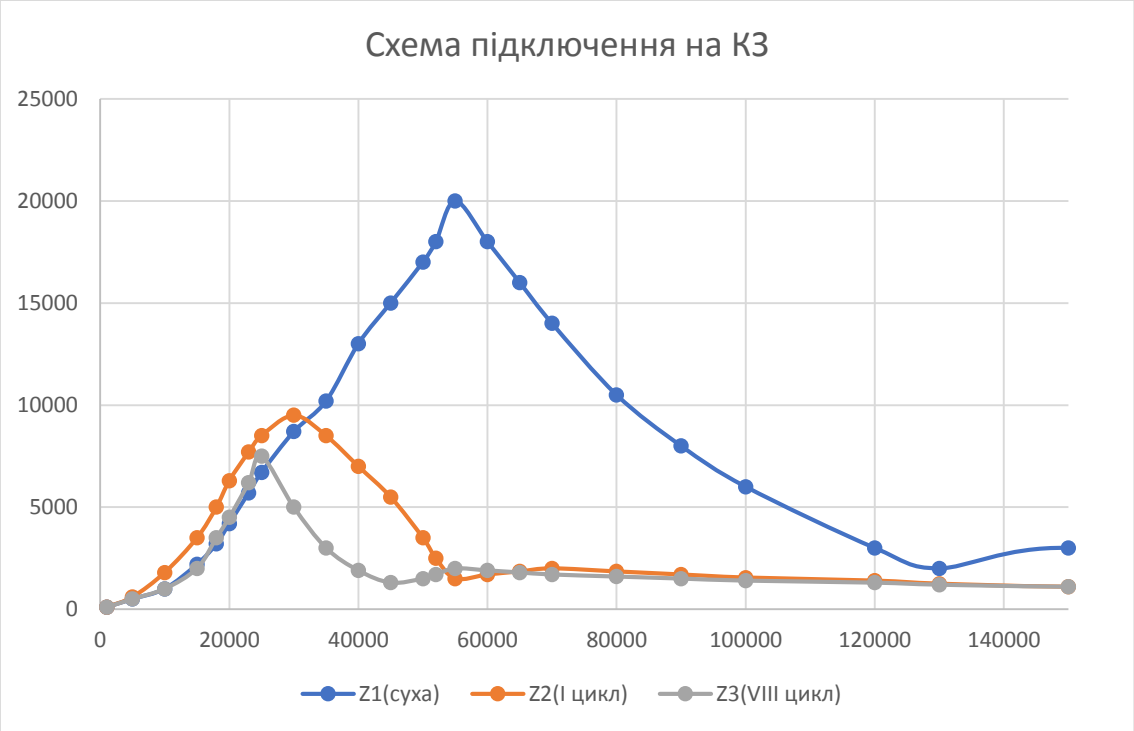



Рис. 3. Частотні характеристики двигуна зняті по схемі КЗ

З графіку знятого по схемі КЗ Z(f) для сухої нової ізоляції видно, що частота та опір резонансного піку високі, що свідчить про високе значення опору ізоляції та відносно невелике значення ємності обмотки електричної машини .

**Методика визначення додаткової ємності обумовленої зволоженням ізоляції при тепловологому старінні.**

Визначення додаткової ємності обумовленої зволоженням ізоляції при тепловологому старінні виконується за допомогою схеми заміщення показаній на рисунку 4, де $R$ – опір обмотки, $L$ – індуктивність обмотки, $C_{\text{поз}}$- поздовжня ємність обмотки, $C_{\text{п}}$- поперечна ємність обмотки.

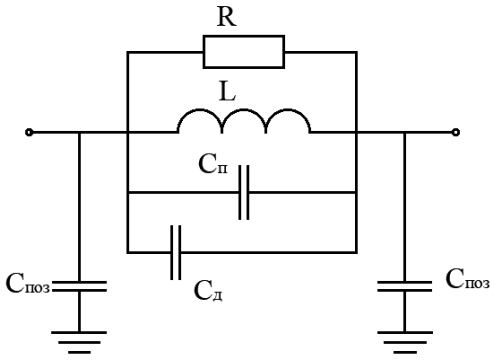



Рис. 4. Схема заміщення для визначення додаткової ємності

З досліду ХХ на частоті 1-10 кГц двигун представляє собою ємність $2C_{\text{поз}}$. По даним вимірів при $f = 2{,}5 \cdot 10^4$ Гц $Z_{XX} = 7000$ Ом. Звідси $2C_{\text{поз}} = \frac{1}{wZ_{XX}} = 0{,}91$ нФ або $C_{\text{поз}} = 0{,}455$ нФ.

З досліду КЗ в точці резонансу $f_0 = 55$ кГц величина

$Z_{\text{КЗ}}/_{f_o} \approx R.Z_{\text{КЗ}}/_{f_o} = 20000$ Ом звідси $R = 20000$ Ом.

За допомогою високоточного вимірювального обладнання вимірюємо $L = 9$ мГн, $C_{\text{п}} = 1.2$ нФ.

Для того, щоб визначити додаткову ємність утворену після першого та восьмого циклів старіння ізоляції використовуємо рівняння (3)

$$2\pi f_0 = \frac{1}{\sqrt{L\left(0{,}5C_{\text{поз}} + C_{\text{п}} + C_{\text{д}}\right)}} \qquad (3)$$

Після першого циклу зволоження резонансна частота $f_0$зменшилась з 60 кГц до 28 кГц, це є ознакою того, що ємність ізоляції збільшилась, використовуючи формулу (3) розраховано додаткову ємність після першого і восьмого циклу зволоження.

$$2 \cdot \pi \cdot 28 \cdot 10^3 = \frac{1}{\sqrt{9 * 10^{-3}\left(0{,}5 \cdot 0{,}455 \cdot 10^{-9} + 1.2 \cdot 10^{-9} + C_{\text{д}}\right)}}$$

Звідки $C_{\text{д1}} = 2{,}2$ нФ

$$2 \cdot \pi \cdot 25{,}5 \cdot 10^3 = \frac{1}{\sqrt{9 * 10^{-3}\left(0{,}5 \cdot 0{,}455 \cdot 10^{-9} + 1.2 \cdot 10^{-9} + C_{\text{д}}\right)}}$$

Звідки $C_{\text{д8}} = 2{,}9$ нФ

Дані розрахунки співпадають з попередніми висновками – після проходження циклу тепловологого старіння ємність ізоляції двигуна збільшується.

**Аналіз результатів.**Для збільшення інформативності частотних характеристики за основний показник взято площу під кривою між двома екстремумами графіку Z(f).

Для графіку знятого по схемі ХХ (рис. 1) отримані результати показані в таблиці 1.

Таблиця 1

**Показники зволоження ізоляції**

| Стан | Нова | I цикл зволоження | VIII цикл зволоження |
|---|---|---|---|
| Площа S | 235500000 | 157950000 | 77552500 |
| ΔS, % | - | 32,9 | 67.1 |

Для графіку отриманого по схемі КЗ (рис. 1) отримані результати показані в таблиці 2.

Таблиця 2

**Показники зволоження ізоляції**

| Стан | Нова | I цикл зволоження | VIII цикл зволоження |
|---|---|---|---|
| ΔS, % | 0 | 77,2 | 89,1 |

Проаналізувавши дані з таблиць 1 і 2, можна зробити висновок, що розмір площі під кривою між екстремумами графіку є показником якості ізоляційної конструкції. Дані розраховані з характеристики знятої за схемою холостого ходу є чітким показником, оскільки показник ΔS зменшується плавно – на 32,9% після першого циклу зволоження, на 67,1% після восьмого циклу, в той час як характеристика знята за схемою короткого замикання більш чутлива до стану ізоляції, показник ΔS зменшився на 77,2% після першого циклу зволоження, на 89,1% після восьмого циклу.

Для того, щоб мати можливість оцінити стан ізоляції після одноразового зняття характеристик, запропоновано використовувати коефіцієнт якості $k_я$, який враховує значення частоти мінімального та максимального екстремумів характеристик холостого ходу та короткого замикання, а також значення вхідних опорів мінімального та максимального екстремумів обох характеристик.

$$k_я = \frac{q_{кз.1} \cdot Z_{кз.1} + q_{кз.2} \cdot Z_{кз.2}}{q_{хх.1} \cdot Z_{хх.1} + q_{хх.2} \cdot Z_{хх.2}}$$

де $q_{\text{кз.1}}$, $q_{\text{кз.2}}$, $q_{\text{хх.1}}$,$q_{\text{хх.2}}$– частота першого і другого резонансного піку на характеристиці знятій за схемою короткого замикання і холостого ходу.

$Z_{\text{кз.1}}$ і $Z_{\text{кз.2}}$, $Z_{\text{хх.1}}$,$Z_{\text{хх.2}}$– відповідно вхідні опори при резонансних частотах.

Значення коефіцієнта якості для різних циклів зволоження показані в таблиці 3.

Таблиця 3

**Показники коефіцієнту якості для різного стану ізоляційної конструкції**

| Стан | Нова | I цикл зволоження | VIII цикл зволоження |
|---|---|---|---|
| $k_{\text{я}}$ | 0.81 | 0.76 | 0.7 |

**Висновки.**

Показано, що частотні характеристики можуть бути узагальненим параметром стану ізоляції в умовах періодичного відстеження якості ізоляції при регламентних ревізіях.

На прикладі двигуна 4А80А4 показано, що для першого циклу теплоговологого старіння отримані наступні результати – резонансна частота, яка відповідає верхньому екстремуму змістилась в область більш низьких частот, що відповідає збільшенню ємності обмотки. Максимальне значення опору Z(f) зменшилось в порівнянні з новою ізоляційною конструкцією, що відповідає зменшенню опору ізоляції відносно корпусу. Найбільш суттєві зміни відбулися після першого циклу зволоження ізоляції, а наступні цикли вже не так суттєво впливають на зміщення частоти екстремумів та зменшення вхідного опору обмоток двигуна.

Оцінка ступеню деструкції ізоляції слід проводити контролюючи параметри частоти резонансного піку, пікового значення опору Z(f) та визначенню площі між верхнім та нижнім екстремумом графіку Z(f).

**Список використаних джерел**

1. Исследование возможностей непрерывного контроля изоляции действующих электроустановок без вывода их из эксплуатации. *Праці Луганського відділення міжнародної академії інформатизації.* 2005. № 1 (10). С. 87-90.

2. *Тарасюк В.* Контроль та випробування ізоляції обмоток тягових двигунів електропоїздів під час ремонту. *Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Сер. Транспортні системи і технології*. 2012. Вип. 21. С. 68-70.

3. Обобщенный индекс поляризации как параметр контроля состояния изоляционных промежутков силовых трансформаторов / *В. А. Чернышев* и др. *Электроэнергетика.* 2009. № 4. С. 83-86.

4. *Oslinger J.. L., Castro L. C.* Correlation between capacitance and dissipation factor used for assessment of stator insulation". *International Scholarly and Scientific Research & Innovation.* 2012. Vol. 6, № 3. С. 288-294.

5. Определение режимов ускоренных испытаний на сохраняемость электроизоляционных конструкций электрических машин малой мощности / *Л. Н. Бакурадзе* и др. *Электрические машины*. 1978. вып. II.

## ЧАСТОТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН СО ВСЫПНОЙ ОБМОТКОЙ ПРИ ТЕПЛОВЛАЖНОМ СТАРЕНИИ

**Чумак В. В., Монахов Є. А., Вишневский О. В., Стулишенко А. С.**

***Аннотация*** – эксплуатация электрических машин с повреждениями в силовом электрической цепи статора двигателя приводит к асимметрии заряда фазного тока двигателя, увеличение потерь нагрева в отдельных фазах, возникновения переменных составляющих электромагнитного момента и потребляемой мощности.

Обмотка статора электродвигателя состоит из нескольких статорных стержней и лобовых частей. Благодаря сложной структуре обмотки и стальном сердечнике затухания и искажения импульса, передаваемой через обмотку, являются сложными и зависимыми от частоты. Анализ, представленный в этой главе, может быть применен к другим вращающихся машин, таких как двигатели низкого напряжения.

В данной статье представлен анализ частотных характеристик низковольтных электрических машин с всыпными обмотками с учетом процессов последовательной разрушения изоляционной конструкции влиянием тепло-влажных циклов. Показано, что частотные характеристики могут быть обобщенным параметром состояния изоляции в условиях периодического отслеживания качества изоляции при регламентных ревизиях. Доказано, что частотные характеристики, которые сняты в режимах холостого хода и короткого замыкания имеют диагностические признаки степени разрушения изоляции при увлажнении, которые заключаются в смещении экстремумов характеристик в область более низких частот, а также уменьшение площади под кривой между минимальными и максимальными экстремумами характеристики.

***Ключевые слова:*** высокочастотные процессы, высокочастотный, входное сопротивление, электрические машины со всыпными обмотками, емкость.

# FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ELECTRICAL MACHINES WITH A MESH WINDINGDURINGHEAT-AND-MOISTURE AGING

**V. Chumak, E. Monakhov, A. Vishnevsky, A. Stulishenko**

***Summary***

Operation of an electric drive with damages in power electric circuit of the motor stator results in asymmetry of the motor phase current charge, increase of heating losses in certain phases, occurrence of variable components of electromagnetic torque and consumed power.

An electric motor stator winding consists of a number of stator bars and overhang connections. Due to the complicated winding structure and the steel core, the attenuation and distortion of a pulse transmitted through the winding are complicated, and frequency-dependent. A low voltage impulse method and digital analysis techniques to determine the frequency characteristics of the winding are described. The frequency characteristics of electric motor stator windings are discussed in some detail. The analysis presented in this chapter could be applied to other rotating machines such as low voltage motors.

An experimentof damping of electric motor wilding was conducted. Changes in frequency characteristics after the cycle are shown.

In this article an analysis of the frequency characteristics of low-voltage electric machines with mush-wound windings, taking into account the processes of successive destruction of the insulation structure by the influence of heat-wet cycles. It is shown that the frequency characteristics can be generalized by the parameter of the state of isolation in the conditions of periodic monitoring of the quality of insulation during regulatory audits. It is proved that the frequency characteristics taken in idle and short-circuit modes have diagnostic features of the level of insulation destruction during humidification, which consist of shifting the characteristics of extremes into the region of lower frequencies, as well as reducing the area under the curve between the minimum and maximum extrema of the characteristic.

***Keywords:*** high-frequency processes, high-frequency, input impedance, electric machines with mush-wound windings, capacitance.

**УДК 664.8.037.5:634.2** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-54**

# ВИБІР СОРТУ ЧЕРЕШНІ З ОПТИМАЛЬНИМ КОМПЛЕКСОМ ПАРАМЕТРІВ ЗА МЕТОДОМ БАГАТОКРІТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ

**Іванова І. Є., к. с.-г. н.,** **https://orcid.org/0000-0003-2711-2021**
e-mail: irinaivanova2017@gmail.com
**Сердюк М. Є., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-6504-4093**
e-mail:kowtunmarina2013@gmail.com
**Герасько Т. В., к. с.-г. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-8477-7559**
e-mail:Tatanagerasko@gmail.com
**Білоус Е. С., асистент,** **https://orcid.org/0000-0002-5056-5013**
e-mail: elzara.bilous@gmail.com
**Кривонос І. А.** **https://orcid.org/0000-0001-7079-5150**
e-mail:iryna.a.krivonos@gmail.com
*Таврійський державний агротехнологічний університет*

***Анотація*** - дослідження присвячені оцінці впливу сортових особливостей на товарні та біохімічні показники плодів черешні української селекції , що вирощені в умовах Півдня України. Проведено науково – обґрунтовану оцінку свіжих плодів 12-ти районованих сортів черешні в стадії знімальної стиглості методом багатокритеріальної оптимізації. В межах досліджуваної групи сортів кращим виявився новий районований сорт Удівітельна (1 ранг) − $\varphi(x_{12})$ =1,80. Контрольний сорт Мелітопольська чорна за значенням цільової функції отримав 11 ранг - $\varphi(x_1)$ = 3,81 , а районований сорт Удача за комплексом товарних та біохімічних показників отримав значення $\varphi(x_{10})$ = 3,91 та займає останній 12 ранг. На підставі значень товарно-біохімічних показників сорту Удівітельна розроблено комплекс параметрів, який дозволяє науково прогнозувати оптимальну якість свіжих плодів черешні: середня маса плоду – 9,6 %; початкова концентрація сухих розчинних речовин - 19,8 %; цукрів – 12,9 %; титрованих кислот – 0,52%; аскорбінової кислоти – 6,9 мг/100г; суми біофлавоноїдів– 570,0 мг/100г.

***Ключові слова:*** плоди черешні, товарність плодів, термін достигання, біохімічний склад, багатокритеріальний метод, геометрична згортка критеріїв, ряд ранжування, цільова функція, сорт, якість.

**Постановка проблеми.** Південь України має в своєму розпорядженні великі природні можливості для промислового вирощування плодових культур. Однією з візиток Запорізького регіону є культура черешня. Плоди черешні користуються широкою популярністю не тільки як рання плодова культура, що відкриває

© Іванова І. Є., Сердюк М. Є., Герасько Т. В., Білоус Е. С., Кривонос І. А.

фруктовий сезон, а й як джерело легкозасвоюваних моноцукрів, потужний імуностимулюючий комплекс з багатьох фітонутрієнтів [1, 2, 3]. Останній, разом з пектином створює подвійний бар'єр для холестерину [3, 4]. Широкий спектр поживних речовин обумовлює необхідність рівномірного використання в раціоні харчування плодів черешні протягом круглого року [5].

З 70-80 тисяч тон черешні, яка щорічно продукується в Україні 25% - це плоди сортів селекції станції садівництва ім. М. Ф. Сидоренка [3, 6]. Селекціонерами станції садівництва ім. М. Ф. Сидоренка передане в Державне випробування більше 90 перспективних сортів черешні [6, 7].

Багато сортів, що створені селекціонерами Півдня України перевищують Європейські аналоги за господарсько-біологічними показниками та характеризуються широким строком достигання. Ці сорти потребують оцінки товарних та біохімічних властивостей плодів з метою виділення кращих за комплексом якісних показників, що в подальшому може бути використано: в селекційному процесі, для закладання промислових насаджень, вибору сорту та способу подальшої переробки плодів. Слід відмітити, що на сьогодні вибір кращого сорту з високою харчовою цінністю плодів є недосконалим, тому що порівняльна оцінка відбувалась за багатьма несумірними критеріями - показниками біохімічного складу. За цією причиною було неможливо розробити комплекс параметрів якісних показників плодів кращого сорту досліджуваної культури. Аналізуючи вищевикладене і приймаючи до уваги, що велика площа насаджень досліджуваної культури розміщена на Україні, важливим є визначення не тільки товарних та біохімічних параметрів, але і вміння комплексно провести порівняльну оцінку досліджуваних сортів за багатьма несумірними критеріями (товарні та біохімічні показники сортозразків) [3,5].

**Аналіз останніх досліджень.** За даними науковців Півдня України черешня відзначається раннім достиганням і досить високою поживною цінністю плодів [1, 8]. Це справжнє джерело мінеральних речовин і вітамінів, також плоди багаті на поліфенольні сполуки [1, 8]. Водночас черешня належить до культур з високим біологічним потенціалом продуктивності, але через вплив різних факторів у річному циклі розвитку не всі сорти можуть повністю його реалізувати в кінцевий продукт – урожай [1, 8]. В останньому десятиріччі посилилась нестабільність погодних умов. У зв'язку з чим плодові дерева зазнають значного багаторазового впливу комплексу несприятливих стресових чинників, що спричинюють підвищення

напруження енергетичного балансу. Це призводить до зниження потенційної стійкості до стресу та проявляється у зниженні врожайності та якості плодів [1, 8].

Українськими селекціонерами створено ряд нових районованих сортів черешні, а саме: Простір, Новинка Туровцева, Епос, Меотида, Романтика, Зодіак, Удівітельна та інші [1, 8]. Останній час збільшується значення великоплідних сортів з високими смаковими якостями для споживання та транспортування у свіжому вигляді, тому виділення сортів черешні з оптимальним комплексом якісних показників, що адаптовані за параметром врожайності до сучасних агрокліматичних умов півдня Степу України є актуальним питанням.

**Формування цілей статті.** Мета досліджень – на підставі порівняльних досліджень районованих сортів черешні селекції станції садівництва ім. М. Ф.Сидоренка УААН виділити кращі за товарними та біохімічними показниками, що вирощені в умовах півдня України.

Відповідно до мети поставлено й вирішено завдання: установити комплекс якісних параметрів свіжих плодів черешні, за визначеними критеріями.

Об’єкт досліджень – процес формування та накопичення показників якості в свіжих плодах черешні.

Предмет досліджень – середня маса плоду, сухі розчинні речовини, загальний цукор, кислота титрована, кислота аскорбінова, фенольні сполуки в свіжих сортозразках черешні.

**Виклад основного матеріалу.** Плоди черешні, що взяті для досліджень вирощувались на Півдні Запорізької області України в дослідному господарстві станції садівництва ім. М. Ф. Сидоренка. Сорти черешні відібрані для досліджень 2017-2018 рр. були вирощені в умовах клімату регіону, що характеризується недостатньою кількістю опадів, нерівномірним їх розподілом по періодах року, високими температурами в літній період, а також низькою вологістю повітря. В зоні Сухого Степу спостерігаються суховії майже кожні два роки.

Для досліджень були обрані наступні сорти: Мелітопольська чорна - контроль, Простір, Новинка Туровцева, Тотем, Епос, Талісман, Ділема, Меотида, Романтика, Удача, Зодіак, Удівітельна.

Оцінка показників якості свіжих плодів здійснювалась у триразовій повторності за наступними елементами обліку: середня маса плоду (%), розчинні сухі речовини (%), загальний цукор (%), кислота титрована (%), кислота аскорбінова (мг на 100г), фенольні речовини (мг на 100г) [9].

Для встановлення комплексу товарних та біохімічних

параметрів плодів кращого сорту черешні був застосований метод багатокритеріальної оптимізації (геометрична згортка) [10, 11].

В основі методу лежить застосування механізму прийняття рішень за багатьма критеріями, який дозволяє виключити вплив одиниць вимірювання показників фізико-біохімічних властивостей плодів, а також величин інтервалів допустимих значень кожного показника на вибір сорту (цільову функцію).

Фізико - біохімічними показниками (критеріями Aj) плодів черешні пізнього строку достигання при заморожуванні і зберіганні є: величина втрати соку ($A_1$); сухі розчинні речовини ($A_2$); цукри ($A_3$); титровані кислоти ($A_4$); аскорбінова кислота ($A_5$); сума фенольних сполук ($A_6$).

Для виключення впливу одиниць виміру фізико-біохімічних і органолептичних показників плодів різних сортів проводимо операцію нормування – переводимо значення фізико-біохімічних і органолептичних показників в безрозмірні величини ( $f_j \to \hat{f}_j$ ).

Перед проведенням операції нормування необхідно встановити:

1) Максимальне ( $f_j^+$ ) та мінімальне ( $f_j^+$ ) значення j-го критерію досліджуваних сортів ($x_i$);

2) Оптимальне значення j-го критерію за наступним правилом:

- якщо оціночний критерій ( $f_j$ ) прагне до мінімального значення ( $f_j{}^{onm} \to \min$), то = $f_j{}^{onm} = f_j^-$;

- якщо оцінний критерій ( $f_j$ ) прагне до максимального значення ( $f_j{}^{onm} \max$), то = $f_j{}^{onm} = f_j^+$.

Прагнення оптимального значення j-го критерію ( $f_j{}^{onm} \min$; $f_j{}^{onm}$ max) враховується при виборі формул (1) або (2) для проведення операції нормування:

$$\hat{f}_j(x_i) = \begin{cases} \dfrac{(f_j(x_i) - f_j^-)}{(f_j^+ - f_j^-)}, \ якщо \ \ f_j{}^{onm} \to \max & (1) \\ \dfrac{(f_j^+ - f_j(x_i))}{(f_j^+ - f_j^-)}, \ якщо \ \ f_j{}^{onm} \to \min & (2) \end{cases}$$

3) Значення j-го критерію в нормованому вигляді для і-го сорту;

4) Значення j-го критерію для і-го сорту у відповідних одиницях виміру;

5) Область допустимих значень j-го критерію порівнюваних сортів.

Після проведення операції нормування проводиться обчислення

значень цільової функції (φ) для кожного сорту ($x_i$) за формулою (3):

$$\varphi(x_i) = \sum^{n} \left| \hat{f}_j(x_i) - \hat{f}_j(x^u) \right| \to \min, \text{ де } 0 \le \hat{f}_j(x_i) \le 1; \quad (3)$$

$$\hat{f}_j(x^u) = 1$$

$\varphi(x_i)$ - цільова функція і-го сорту;

$n$- кількість критеріїв.

$\hat{f}_j(x_i)$ - значення j-го критерію в нормованому вигляді для і-го сорту;

$\hat{f}_j(x^u)$ - значення j-го критерію в нормованому вигляді для ідеального сорту;

$x^u$ - ідеальний сорт (з оптимальними значеннями критеріїв).

Доказ, що $\hat{f}_j(x^u) = 1$.

Якщо $f_j^{опт} \to \max$, то згідно з формулою, значення j-го критерію в нормованому вигляді для ідеального сорту для перевірки можемо розрахувати за формулою (4):

$$\hat{f}_j(x^u) = \frac{f_j(x^u) - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-}, \text{ т.як } f_j(x^u) = f_j^{опт} = f_j^+, \text{ то}$$

$$\hat{f}_j(x^u) = \frac{f_j^+ - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-} = \frac{1}{1} = 1 \quad (4)$$

Якщо $f_j^{опт} \to \min$, то згідно формули, значення j-го критерію в нормованому вигляді для ідеального сорту для перевірки можемо розрахувати за формулою (5);

$$\hat{f}_j(x^u) = \frac{f_j^+ - f_j(x^u)}{f_j^+ - f_j^-}, \text{ т.як } f_j(x^u) = f_j^{опт} = f_j^-, \text{ то}$$

$$\hat{f}_j(x^u) = \frac{f_j^+ - f_j^-}{f_j^+ - f_j^-} = \frac{1}{1} = 1 \quad (5)$$

Вибір найкращого сорту визначається з умов максимального наближення його цільової функції до цільової функції ідеального сорту, яка дорівнює нулю.

Доведемо, що $\varphi(x^u) = 0$.

Відповідно до формули (3) $\varphi(x^u) = \sum^{n} \left| \hat{f}_j(x^u) - \hat{f}_j(x^u) \right| = \sum^{n} |1-1| = 0.$

Отже, чим менше величина цільової функції сорту в діапазоні значень критеріїв досліджуваних сортів, тим більш придатний він до заморожування і тривалого низькотемпературного зберігання. На

цьому принципі заснована побудова рангового ряду і вибір в діапазоні значень показників порівнюваних сортів комплексу параметрів фізико-біохімічних властивостей плодів кращого для заморожування і тривалого низькотемпературного зберігання сорту черешні в межах досліджуваного строку достигання.

Середня маса плоду в плодах черешні 12-ти досліджуваних сортів варіює в діапазоні 5,1 г-10,0 г (табл.1). Мінімальне значення середньої маси плоду зафіксовано у сортозразків Ділема (5,1 г) та Меотида (5, 6 г), що значно менше значення цього показника у контрольного сорту Мелітопольська чорна - 8,1 г. Плоди сорту Зодіак на 1, 9 г більше за масою сортозразків ніж контроль.

Вивчення кількості сухих розчинних речовин в плодах черешні аналізуємих сортів показало, що показник варіює в діапазоні 12,1%-19,8%. Максимальну кількість сухих розчинних речовин відмічено у сорту Удівітельна (19,8%). Сорт Новінка Туровцева характеризується стабільним мінімальним вмістом досліджуваного показника - 12,1 %.

Вміст цукрів в досліджуваних сортозразках черешні коливається в діапазоні 8,6%-12,9 %. Плоди контрольного сорту Мелітопоьська чорна на 0,4% мають більший вміст цукрів ніж сорт Новінка Туровцева (8,6%), що характеризується мінімальним значенням досліджуваного показника. Плоди сорту Удівітельна характеризуються найбільшим вмістом цукрів - 12,9 %.

Вміст титрованих кислот в плодах черешні сортів: Мелітопольська чорна, Епос, Ділема знаходяться на рівні-0,61%-0,62%. У сортозразках Простір відмічено максимальний вміст досліджуваного показника - 0,72%.

Масова концентрація аскорбінової кислоти коливається в плодах сортозразків від 6,2 до10,8 мг/100г. Вміст показника в плодах сортів Новинка Туровцева та Епос складає 10,8 мг/100г; 10,0 мг/100г, що значно вище по відношенню до контрольного сорту Мелітопольська чорна – 6,5 мг/100г.

Варіювання суми фенольних сполук в плодах черешні відбувається в широкому діапазоні і складає 330,8-570,0 мг/100г. Максимальний вміст показника зафіксовано в плодах сортозразків Удівітельна (570,0 мг/100 г).

Аналіз отриманих експериментальних даних потребує проведення комплексної порівняльної оцінки 12-ти досліджуваних сортів за всіма показниками якості, тому вибір оптимального сорту черешні методом багатокритеріальної оптимізації проводився для свіжих плодів в знімальній стадії стиглості. При аналізі значень цільових функцій установлено ранжированый ряд сортів (табл. 1).

Таблиця 1

**Результати значень цільових функцій φ ($x_1$)… φ ($x_{15}$) при виборі оптимального сорту черешні за комплексом фізико-біохімічних показників**

| Альтернативи ($x_i$) | Сорт | Критерії, $A_j$ | | | | | | | | | | | | Значення цільових функцій φ ($x_1$) | Ранг |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Середня маса плоду, (%), $A_1$ | | Розчинні сухі речовини (%), $A_2$ | | Загальний цукор, (%), $A_3$ | | Кислота титрована, (%), $A_4$ | | Кислота аскорбінова, (мг/100г), $A_5$ | | Фенольні речовини, (мг/100г), $A_6$ | | | |
| | | $f_1$ (г) | $\hat{f}_2$ | $f_2$ (%) | $\hat{f}_2$ | $f_3$ (%) | $\hat{f}_3$ | $f_4$ (%) | $\hat{f}_4$ | $f_5$ (мг/100г) | $\hat{f}_5$ | $f_6$ (мг/100г) | $\hat{f}_6$ | | |
| $X_1$ | Мелітопольсь-ка чорна (к) | 8,1 | 0,63 | 15,4 | 0,43 | 9,0 | 0,17 | 0,62 | 0,56 | 6,5 | 0,08 | 406,3 | 0,32 | 3,81 | 11 |
| $X_2$ | Простір | 6,9 | 0,41 | 14,0 | 0,25 | 10,1 | 0,39 | 0,72 | 0,96 | 8,8 | 0,56 | 391,5 | 0,26 | 3,17 | 5 |
| $X_3$ | Новінка Туровцева | 9,8 | 0,94 | 12,1 | 0,01 | 8,6 | 0,08 | 0,59 | 0,44 | 10,8 | 0,98 | 357,8 | 0,12 | 3,43 | 8 |
| $X_4$ | Тотем | 7,1 | 0,44 | 15,0 | 0,38 | 10,5 | 0,48 | 0,56 | 0,32 | 8,6 | 0,52 | 375,0 | 0,19 | 3,67 | 10 |
| $X_5$ | Епос | 9,8 | 0,94 | 16,3 | 0,54 | 10,7 | 0,52 | 0,61 | 0,52 | 10,0 | 0,81 | 463,8 | 0,56 | 2,10 | 2 |
| $X_6$ | Талісман | 7,5 | 0,52 | 16,2 | 0,53 | 12,3 | 0,85 | 0,72 | 0,96 | 6,8 | 0,15 | 364,0 | 0,14 | 3,29 | 6 |
| $X_7$ | Ділема | 5,1 | 0,07 | 17,9 | 0,75 | 12,4 | 0,88 | 0,61 | 0,52 | 6,2 | 0,02 | 330,8 | 0,01 | 3,31 | 7 |
| $X_8$ | Меотида | 5,6 | 0,17 | 18,5 | 0,82 | 12,2 | 0,83 | 0,67 | 0,76 | 7,7 | 0,33 | 465,8 | 0,56 | 2,52 | 3 |
| $X_9$ | Романтика | 7,6 | 0,54 | 17,5 | 0,70 | 12,1 | 0,81 | 0,49 | 0,04 | 7,0 | 0,19 | 378,0 | 0,20 | 3,53 | 9 |
| $X_{10}$ | Удача | 6,8 | 0,39 | 16,6 | 0,58 | 107 | 0,52 | 0,53 | 0,20 | 6,8 | 0,15 | 391,6 | 0,26 | 3,91 | 12 |
| $X_{11}$ | Зодіак | 10,0 | 0,98 | 18,3 | 0,80 | 11,7 | 0,73 | 0,51 | 0,12 | 7,0 | 0,19 | 385,0 | 0,23 | 2,96 | 1 |
| $X_{12}$ | Удівітельна | 9,6 | 0,91 | 19,8 | 0,99 | 12,9 | 0,98 | 0,52 | 0,16 | 6,9 | 0,17 | 570,0 | 0,99 | 1,80 | 1 |
| $f_j^-$ | | 4,7 | | 12 | | 8,5 | | 0,48 | | 6,1 | | 329,0 | | | |
| $f_j^+$ | | 10,1 | | 19,9 | | 13,0 | | 0,73 | | 10,9 | | 571,0 | | $\varphi(x^u)=0$ | |

Як свідчать дані (табл. 1), переважна кількість досліджуваних сучасних районованих сортів черешні південного Степу України за комплексом якісних показників швидкозаморожених плодів перевершують контрольний сорт – Мелітопольська чорна. В межах досліджуваної групи сортів кращим виявився новий районований сорт Удівітельна (1 ранг) − $\varphi(x_{12})$=1,80. Контрольний сорт Мелітопольська чорна за значенням цільової функції отримав 11 ранг - $\varphi(x_1)$=3,81, а районований сорт Удача за комплексом товарних та біохімічних показників отримав значення $\varphi(x_{10})$ = 3,91 та займає останній дванадцятий ранг.

**Висновки.** Проведена порівняльна оцінка досліджуваних сортів за багатьма несумірними критеріями (товарними, біохімічними показниками плоду) методом багатокритеріальної оптимізації (геометрична згортка критерій) дозволила виключити вплив одиниць виміру якісних показників, а також величин інтервалів припустимих значень кожного показника на цільову функцію - $\varphi(x_i)$. Результати значень цільових функцій $\varphi(x_1)$…$\varphi(x_{12})$ при виборі оптимального сорту черешні в свіжому вигляді встановили, що кращими в знімальній стадії стиглості є плоди сорту Удівітельна. На підставі значень товарно-біохімічних показників сорту Удівітельна розроблено комплекс параметрів, який дозволяє науково прогнозувати оптимальну якість свіжих плодів черешні: середня маса плоду – 9,6%; початкова концентрація сухих розчинних речовин - 19,8%; цукрів– 12,9%; титрованих кислот – 0,52%; аскорбінової кислоти –6,9мг/100г; суми біофлавоноїдів– 570,0мг/100 г.

**Список використаних джерел**

1. *Луговской А. П.* Концептуальные подходы к формированию сортовой политики в отрасли садоводства Краснодарского края. *Новации и эффективность производственных процессов в плодоводстве.* Т. 1. Краснодар, 2015. С. 143-161.

2. *Холик З.* Досвід групи виробників фруктів. *Новини садівництва.* 2006. № 3. С. 38-40.

3. Наиболее распространенные коммерческие сорта черешни мировой селекции. *Овощи и фрукты*. 2015. № 6. С. 60-68.

4. *Туровцев М. І., Туровцева В. О., Туровцева Н. М.* Сучасний стан сортименту черешні та шляхи його поліпшення. *Садівництво*. Київ, 2000. Вип. 50. С. 135-140.

5. *Туровцев Н. И., Тараненко Л. И., Павлюк В. В.* Слива, вишня, черешня / за ред. В. В. Павлюк. Київ: Урожай, 2004. Т. 4. 272 с.

6. *Poiana M. A., Moigradean D., Alexa E.* Influence of home-scale freezing and storage on antioxidant properties and color quality of different garden fruits. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2010. Vol. 16, № 2. P. 163-171.

7. *Vasylyshina E.* Infl uence of freezing and storing cherry fruit on its nutritional value. *Acta scientiarum polonorum technologia alimentaria*. 2016. Vol. 15, № 2. P. 145-150.

8. *Савельев Н. И. Богданов Р. Е.* Итоги научной и производственной деятельности ГНУ ВНИИГИСПР им. И. Мичурина Россельхозакадемии за 2010 г. и наиболее значимые научные разработки за 2006-2010 гг. *Плодоводство и ягодоводсво России.* 2011. Вып. 27. С. 109-130.

9. *Найченко В.М., Заморська І.Л.* Технологія зберігання і переробки плодів та овочів: навч. посібник. Умань: Сочінський, 2010. 328 с.

10. *Кини Р. Л., Радара Х.* Принятие решений при многих критериях: замещение и предпочтение. Москва: Радио и связь, 1981.560 с.

11. *Иванченко В. И., Иванова И. Е.* Многокритериальный выбор лучшего сорта черешни для замораживания и низкотемпературного длительного хранения. *Виноградарство и виноделие*. 2003. № 1. С. 32-35.

## ВЫБОР СОРТА ЧЕРЕШНИ С ОПТИМАЛЬНЫМ КОМПЛЕКСОМ ПАРАМЕТРОВ МЕТОДОМ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

**Иванова И. Е., Сердюк М. Е., Геращко Т. В., Билоус Э. С., Кривонос И. А.**

***Аннотация*** - исследования посвящены оценке влияния сортовых особенностей на товарные и биохимические показатели плодов черешни украинской селекции, что выращены в условиях юга Украины. Проведен научно-обоснованный выбор свежих плодов 12-ти районированных сортов черешни в стадии сьемной зрелости методом многокритериальной оптимизации. В рамках исследуемой группы сортов лучшим выявлен новый районированный сорт Удивительная (1 ранг) − $\varphi(x_{12})$ =1,80. Контрольный сорт Мелитопольская чорная по значению целевой функции получил 11 ранг - $\varphi(x_1)$ = 3,81, а районированный сорт Удача по комплексу товарних и биохимичеких показателей получил значение $\varphi(x_{10})$ = 3,91и занимает последний 12 ранг. На основании значений товарно-биохимических показателей сорта Удивительная разработан комплекс параметров, который позволяет научно прогнозировать оптимальное качество свежих плодов черешни: средняя масса плода – 9,6%; начальная концентрация

сухих растворимых веществ - 19,8%; сахаров-12,9%; титрованых кислот – 0,52%; аскорбиновой кислоты - 6,9 мг/100г; суммы биофлавоноидов– 570,0 мг/100г.

***Ключевые слова*:** плоды черешни, товарность плодов, срок созревания, биохимический состав, многокритериальний метод, геометрическая сверстка критериев, ряд ранжирования, целевая функция, сорт, качество.

## THE CHOICE OF SWEET CHERRY VARIETIES WITH OPTIMAL SET OF PARAMETERS BY THE METHOD MULTICRITERIA OPTIMIZATION

**I. Ivanova, M. Serdiuk, T. Herasko, E. Belous, I. Kryvonos**

### Summary

The research is devoted to the evaluation of the effect of varietal characteristics on the marketability and biochemical parameters of Ukrainian cherry fruit selections grown in the conditions of the south of Ukraine. A scientifically grounded estimation of fresh fruits of 12 zoned varieties of sweet cherries of shooting ripeness by the method of multicriteria optimization was conducted. Within the studied group of varieties, the new zoned variety Udivitelna was found to be the best - 1 rank - φ (x12) = 1.80.The control variety Melitopolska chorna checked the rank 11 - φ (x1) = 3.81 for the target function, and the rational variety for Udacha after the complex of marketability and biochemical indices got the value - φ (x10) = 3.91 and occupies the last twelfth rank. On the basis of the values of marketability and biochemical indicators of the Udivitelna variety, a set of parameters was developed, which allows scientifically to predict the optimum quality of fresh fruit of sweet cherry: the average weight of the fruit - 9,6%; initial concentration of dry soluble substances - 19,8%; sugar - 12,9%; titrated acids - 0,52%; ascorbic acid - 6.9 mg / 100 g; the sum of bioflavonoids - 570.0 mg / 100 g.

**Keywords***:* sweet cherry fruits, marketability of fruits, shelf life, biochemical composition, multicriteria method, geometric convolution of criteria, row ranking, target function, variety, quality.

**УДК 664.8.037.1:634.13** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-55**

# ВПЛИВ РОЗЧИНІВ НАНОМЕТАЛІВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ОКИСНО-ВІДНОВНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ЗБЕРІГАННІ ПЛОДІВ ГРУШІ

**Сердюк М. Є., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-6504-4093**
**Кюрчева Л. М., к. с.-г. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-8225-3399**
**Андрущенко М. В., к. с.-г. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-7233-4339**
**Жукова В. Ф., к. с.-г. н.** **https://orcid.org/0000-0002-1963-659X**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: kowtun.marina2013@gmail.com, +38(067)163 33 71

***Анотація*** – дослідження присвячені вивченню та науковому обґрунтуванню впливу розчинів нанометалів на інтенсивність окисно-відновних процесів у плодах груші протягом тривалого зберігання. В результаті досліджень встановлено, що обробка розчинами нанометалів сприяла стабілізації інтенсивності дихання плодів на рівні 20 мг $CO_2$ кг/год протягом всього періоду зберігання. Незначне підвищення інтенсивності дихання (у 1,3 рази) було зафіксовано на 180 добу зберігання плодів груші сорту Киргизька зимова за обробки 60 відсотковим розчином нанометалів (варіант1). Поряд з цим, у плодах контрольного варіанту спостерігалося клімактеричне зростання дихання на 90…120 добу зберігання. Визначено, що середні втрати титрованих кислот у плодах контрольних варіантів становили 70 %, а цукрів 58% від початкового значення. Обробка плодів розчинами нанометалів зменшувала середній рівень втрат титрованих кислот протягом періоду зберігання в середньому на 23%, загального цукру на 6%, сахарози – на 8%. Показано, що післязбиральна обробка розчинами нанометалів сприяла формуванню більш гармонійного смаку плодів груші різних помологічних сортів протягом періоду зберіганню.

***Ключові слова:*** плоди груші, інтенсивність дихання, титрована кислотність, цукри, цукрово-кислотний індекс, смак, зберігання.

**Постановка проблеми.** Груша є однією із найпопулярніших плодових культур в Україні. Споживачі цінують привабливий вигляд, своєрідний аромат і смакові якості її плодів. Плоди груші містять багато вітамінів та мікроелементів, органічних кислот, легкозасвоюваних вуглеводів та сорбітолу, завдяки чому харчування людини стає більш збалансованим. Їх річна фізіологічна норма споживання для людини становить 7,5 кг. Проте споживання обмежено сезонністю виробництва.

За звичайного холодильного зберігання втрати плодів сягають більше 25%, різко знижуються товарні якості та поживна цінність сировини. Значна частка втрат плодів в період зберігання припадає на поразку їх фізіологічними розладами і грибними хворобами. Крім

© Сердюк М. Є., Кюрчева Л. М., Андрущенко М. В., Жукова В. Ф.

того, при моделюванні та розробці технології тривалого зберігання плодової сировини, призначеної для виробництва продуктів здорового харчування, окрім збереження товарних якостей, найважливішим критерієм є збереження біологічно активних речовин і харчової цінності [1].

Прогресивним напрямом вдосконалення способів зберігання вважається обробка плодів захисними композиціями різної природи. Перспективність цього напряму визнана багатьма вченими всього світу. Використання захисних композицій дозволяє знизити швидкість окисно-відновних процесів, що проходять у плодах під час зберігання, і таким чином уповільнити процеси катаболізму. Поряд з цим, застосовані препарати повинні бути екологічно чистими та безпечними для людини [2].

Речовинами, які володіють усіма переліченими властивостями є нанометали. У зв'язку з цим, дослідження присвячені вивченню впливу розчинів нанометалів, на збереженість плодів груші є дуже цікавими, а їх результати можуть мати великий практичний попит у виробників. Усе вищевикладене зумовило актуальність теми і послужило основою для проведення досліджень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.**

Важливою умовою підтримки здоров'я людини є повноцінне та регулярне забезпечення організму всіма необхідними харчовими речовинами, що можливо при споживанні харчових продуктів, збалансованих за складом, харчова цінність яких буде обумовлена достатнім вмістом вуглеводів, органічних кислот, дубильних, азотистих і мінеральних речовин, вітамінів тощо [3].

Плоди й овочі є основними постачальниками цих речовин і мають становити близько 90% раціону кожної людини. Під час зберігання, навіть короткочасного, у плодах відбуваються значні зміни, які погіршують їх якість й призводять до швидкого псування. Ці зміни пов'язані з діяльністю ферментів або мікроорганізмів, які вважаються основними збудниками псування. Важливим чинником, який запобігає розвитку цих збудників, є правильне зберігання плодової продукції [4].

Способи зберігання плодоовочевої продукції на сучасному етапі розвитку науки залишаються здебільшого досить консервативними. Проте з’являються й нові дослідження в найрізноманітніших галузях, які дозволяють розробити нові, інноваційні способи зберігання свіжих плодів і овочів.

Так, країни з розвиненою економікою орієнтуються на розвиток і застосування нанотехнологій, як на перспективну галузь у сучасному інформаційному світі.

Наноматеріали сьогодні знаходять все більш активне застосування в харчовій промисловості. Це і очищення питної води, фільтрування рідких продуктів, пакувальні матеріали, збагачення продуктів мікронутрієнтів, створення нанобіосенсорів і т. ін. [5].

В умовах сьогодення можна виділити три основні напрямки застосування нанотехнологій: сільськогосподарське виробництво (агрохімікати та корми для тварин), харчова промисловість (нанорозмірні інгредієнти, добавки, харчові добавки та функціональні харчові продукти), матеріали, що контактують з харчовими продуктами [6].

Розвиток нанотехнологій у виробництві продуктів харчування має ураховувати соціально-економічні аспекти харчування, фундаментальні і прикладні постулати технології та біотехнології харчових виробництв, а також нутріціологічні аспекти харчування [7].

На даний момент розробляються на основі нанотехнологій харчові добавки, смакоароматичні речовини можуть надавати одному й тому ж продукту різні органолептичні властивості (колір, аромат, текстуру) в залежності від технологічної обробки [8].

Використання деяких нутрієнтів (мінеральних речовин, вітамінів і антиоксидантів) у вигляді наночасток або інкапсулювання їх [9-12] дозволяє поліпшити засвоюваність харчових речовин у складі збагачених продуктів та, у значному числі випадків, уникнути ефектів хімічної або біологічної несумісності нутрієнтів.

Найбільш важлива перевага нанотехнологій — можливість поліпшення здоров'я людини. Інтерес представляє і використання нанотехнологій у виробництві функціональних інгредієнтів [13].

На думку вчених, застосування нанотехнологій в сільському господарстві і харчовій промисловості сприяє формуванню абсолютно нового класу харчових продуктів — «нанопродуктів», які з часом прийдуть на заміну генно модифікованим продуктам [14].

Нанотехнології дозволяють отримувати ефективні пакувальні матеріали, здатні значно продовжити терміни зберігання, які забезпечують: захист продуктів харчування від окиснення (бар'єрні матеріали), захист від мікробіологічного псування, інформування про стан продукту - застосування наночипів для ідентифікації умов і термінів зберігання харчових продуктів, виявлення патогенних мікроорганізмів [15-17].

Особливо поширені при виробництві харчових продуктів препарати на основі наночасток срібла, які мають сильну бактерицидну і фунгіцидну дію, та зберігають свою стабільність при їх застосуванні протягом тривалого часу. Встановлено, що при концентрації наносрібла 0,05% повністю пригнічується ріст штамів мікроорганізмів. Випробування бактерицидної композиції на основі

наносрібла при виробленні варено копченої ковбаси показало, що термін зберігання виробу збільшується в два рази [18].

Інтерес дослідників викликають не тільки препарати на основі наночасток срібла, а й на основі інших неорганічних і органічних речовин. Зокрема, в деяких роботах [18, 19], було показано, що бактерицидний ефект мають також наночастки оксиду цинку. Питання застосування наночасток міді і оксидів міді залишається відкритим, оскільки на сьогоднішній день є дуже мало даних про біологічні ефекти при застосуванні даних препаратів [20, 21, 22].

Відсутність в нанометалах токсичного ефекту на живі організми, легка біодеградація у воді, ґрунті та організмах рослин і тварин дозволяє рекомендувати їх в якості екологічно безпечних засобів захисту рослин. Використання кремнійорганічних біостимуляторів в рослинництві дозволяє підвищити холодостійкість, стійкість до жари і засухи, дозволяє опиратись стресовим погодним умовам, підсилює захисні сили рослин при хворобах і проти шкідників, а також зменшує негативну дію хімічних реагентів при комплексній обробці рослин [23, 24].

У зв’язку з існуючою потребою у інноваційних розробках в галузі зберігання свіжої плодоовочевої продукції з одного боку, та нешкідливість нанометалів, їх високу антиоксидантну активність та бактерицидні властивості з іншого, є доцільним провести наукові дослідження по виявленню їх впливу на збереженість плодів груші з високою якістю та біологічною цінністю. На наш погляд результати таких досліджень можуть мати практичне значення.

**Формулювання цілей статті.** Метою досліджень, було вивчення та наукове обґрунтування впливу розчинів нанометалів на інтенсивність окисно-відновних процесів у плодах груші протягом тривалого зберігання.

**Виклад основного матеріалу.** Для зберігання плоди груші збирали при досягненні знімального ступеня стиглості, типові за формою та забарвленням. Визначення календарної дати знімання проводили за стандартними методиками.

Перед закладенням на зберігання були проведені інспекція, сортування й калібрування плодів. Обробку продукції розчинами нанометалів виконували у підготовчому відділені холодильника. Плоди завантажували у ванни з робочими розчинами нанометалів. Після повного висихання плоди упаковували в тару. При цьому груші укладали по діагоналі, спрямовуючи плодоніжку у проміжки між плодами наступного ряду.

Варіанти обробки: контроль – плоди груші без обробки; варіант 1 – Ag + Mg 60%; варіант 2 – Ag + Mg 1%. Окрім нанометалів до робочих розчинів були включені гліцерин, пропіленгліколь та вода.

Зберігання плодів груші виконували у холодильній камері за температури 0 ± 2°С, відносній вологості повітря 95%.

Під час експерименту був визначений вплив обробки розчинами нанометалів на зміни інтенсивності дихання, масової частки цукрів та титрованих кислот плодів груші протягом тривалого зберігання. Усі визначення виконували за стандартними методиками.

Результати визначення інтенсивності дихання плодів наведені на рисунках 1 – 3. З отриманих даних видно, що при закладанні плодів на зберігання більш високою інтенсивністю дихання характеризувалися плоди груші сортів Вікторія. Дещо нижчою вона була у плодів сорту Талгарська красуня, і мінімальною серед досліджених сортів – у плодів сорту Киргизька зимова – у 1,5 рази менше, порівняно з плодами сорту Вікторія.

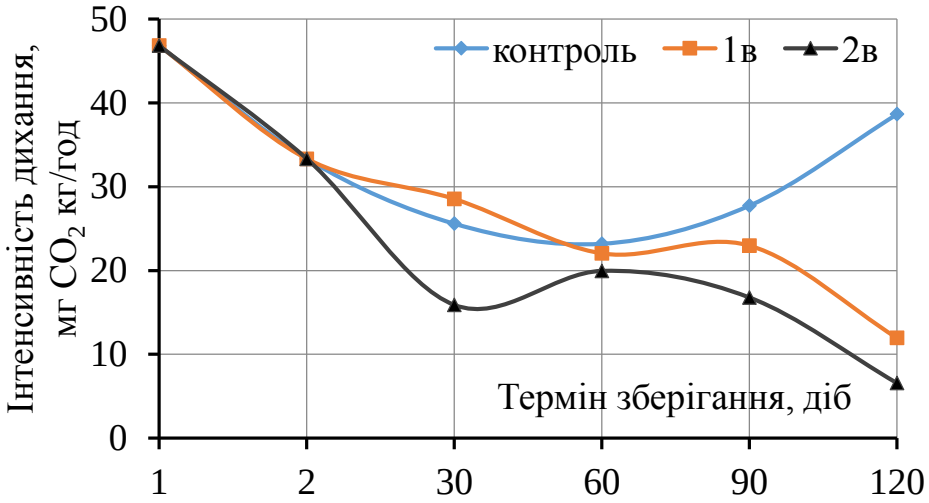



Рис. 1. Інтенсивність дихання плодів груші сорту Вікторія протягом зберігання за обробки нанометалами: точка 1 – дихання при збиранні плодів, точка 2 – дихання після попереднього охолодження.

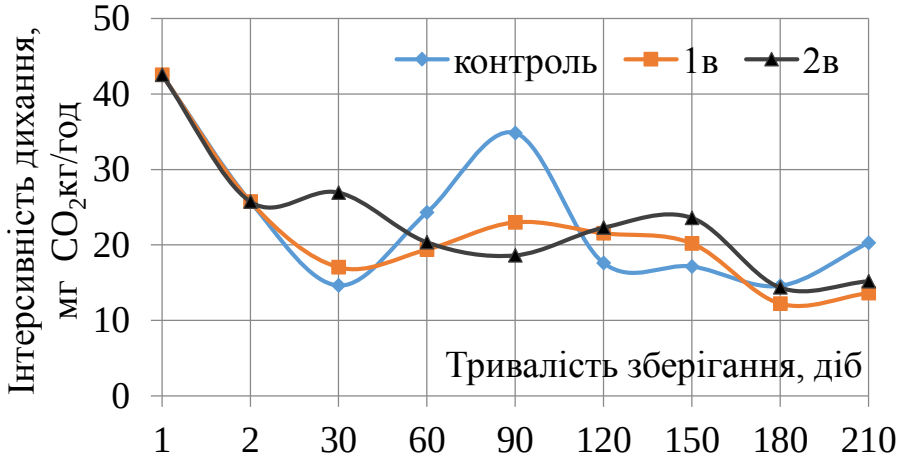



Рис. 2. Інтенсивність дихання плодів груші сорту Талгарська красуня протягом зберігання за обробки нанометалами: точка 1 – дихання при збиранні плодів, точка 2 – дихання після попереднього охолодження.

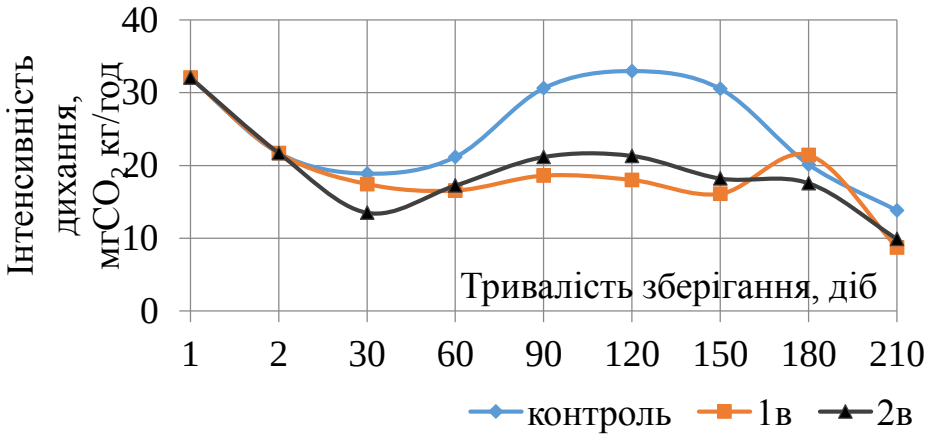



Рис. 3. Інтенсивність дихання плодів груші сорту Киргизька зимова протягом зберігання за обробки нанометалами: 1 – дихання при збиранні плодів, 2 – дихання після попереднього охолодження.

Попереднє охолодження плодів (точка 2) супроводжувалось зниженням їх інтенсивності дихання у 1,4…1,7 рази залежно від сорту плодів. Слід зазначити, що вплив варіанту обробки плодів розчинами нанометалів на даному етапі був не істотний.

Зниження інтенсивності дихання тривало до 30 доби зберігання для плодів груші сортів Талгарська красуня та Киргизька зимова, та до 60 доби – для плодів сорту Вікторія.

Надалі, при зберіганні усіх сортів контрольних плодів груші зафіксоване стабільне зростання інтенсивності дихання з досягненням клімактеричного підйому дихання у плодах сорту Талгарська красуня – на 90 добу, а плодах сортів Вікторія та Киргизька зимова – на 120 добу зберігання.

Зростання інтенсивності дихання відбувається внаслідок активного розвитку процесів післязбирального дозрівання плодів, а клімактеричний підйом дихання співпадає з досягненням ними повної споживчої стиглості.

Після клімактериксу починається період перезрівання та старіння плодів, який супроводжується зниженням інтенсивності дихання, внаслідок руйнування та загибелі рослинних клітин.

Дещо інша динаміка встановлена при зберіганні плодів за обробки розчинами нанометалів. При цьому, зниження інтенсивності дихання тривало до 30…60 доби залежно від сорту та варіанту обробки, а потім, на відміну від контрольних плодів, помітного зростання інтенсивності дихання не відбувалось. Інтенсивність дихання плодів дослідних варіантів протягом всього періоду зберігання не істотно коливалась у межах 20 мг $CO_2$ кг/год.

Незначне підвищення інтенсивності дихання (у 1,3 рази) було зафіксовано на 180 добу зберігання плодів груші сорту Киргизька

зимова за обробки 60 %-вим розчином нанометалів (варіант1). Проте, загальновідомо, що клімактеричним підйомом дихання вважається стрімке зростання інтенсивності дихання більше, ніж у 2 рази. Отже, зафіксоване зростання інтенсивності дихання не вважається клімактериксом, а тільки відображає активацію процесів дозрівання плодів даного варіанту.

Максимальний рівень інтенсивності дихання позначається на величині тепловиділення плодів. Між даними показниками встановлений тісний позитивний кореляційний зв'язок, що означає: чим вище інтенсивність дихання плодів протягом зберігання, тим більше тепла вони виділяють, а отже і вищим є додаткове навантаження на холодильне обладнання, і більшими є витрати коштів на підтримання сталого температурного режиму в холодильній камері.

Інтенсивність тепловиділення плодів при диханні визначали за формулою:

$$Q = q_{\text{пит}} ІД,$$

де $q_{\text{пит}}$ – питома теплота дихання, 10,69 кДж на 1 г $CO_2$,

*ІД* – інтенсивність дихання плодів, мг $CO_2$/кг за год.

Питома теплота дихання була визначена наступним чином: процес аеробного дихання то спрощено може бути описаний рівнянням:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6H_2O + 6CO_2 + 2824 \text{ кДж}.$$

Оскільки молекулярна маса $CO_2$ дорівнює 44, то за рівнянням процесу дихання виділяється 44·6=264 г $CO_2$. Отже, на 264 г $CO_2$ виділиться 2824 кДж тепла, а при виділенні 1 г $CO_2$ виділиться 10,69 кДж тепла.

Результати розрахунків наведені у таблиці 1. Отримані данні констатують, що максимальним тепловиділенням характеризувалися плоди груші контрольних варіантів з коливанням від 413 кДЖ/кг °С у плодів груші сорту Вікторія до 353 кДЖ/кг °С – у сорту Киргизька зимова. Низький коефіцієнт варіації V свідчить про неістотний вплив сортових особливостей плодів на мінливість даного показника. Обробка 60 %-вим розчином нанометалів ( варіант 1) зменшувала середній рівень тепловиділення плодів груші у 1,5 рази, а 1 %-вим розчином (варіант 2) – у 1,6 разів порівняно з контрольним варіантом. Слід зазначити більш істотний вплив сортових особливостей плодів на рівень аналізованого показника, про що свідчить коефіцієнт варіації середньої сили (V=12,6 та 13,3%).

Таблиця 1

**Максимальне тепловиділення плодів груші при зберіганні за обробки розчинами нанометалів**

| Помологічний сорт | Тепловиділення плодів за різних варіантів обробки, кДЖ/кг °С | | |
|---|---|---|---|
| | К | В 1 | В 2 |
| Вікторія | 413,2 | 305,0 | 213,4 |
| Талгарська красуня | 372,3 | 245,7 | 287,9 |
| Киргизька зимова | 352,5 | 228,8 | 227,8 |
| **Середнє за сортами** | **379,3** | **259,8** | **243,0** |
| **V, %** | **6,7** | **12,6** | **13,3** |
| **НІР $_{05}$** | | | **15,06** |

Серед дослідних плодів як найбільшим, так і найменшим тепловиділенням характеризувалися плоди груші сорту Вікторія. При цьому найбільше значення було зафіксоване за обробки 60 %-вим розчином (варіант 1), а найменше – за обробки 1 %-вим розчином (варіант 2) нанометалів.

Отже, в результаті досліджень встановлено, що обробка плодів груші розчинами нанометалів істотно зменшує інтенсивність дихання та рівень тепловиділення протягом всього періоду зберігання, незалежно від їх сортових особливостей. Це сприяє зменшенню енерговитрат на роботу холодильного обладнання та вентилювання з метою видалення продуктів дихання і створення однорідного температурного поля в камерах зберігання. Найбільший позитивний ефект встановлений за обробки плодів груші композицією, яка містить 1 %-вий розчин нанометалів (варіант 2).

Головними субстратами у дихальному метаболізмі плодів є вуглеводи та органічні кислоти.

Результати визначення вмісту титрованих кислот у плодах груші, що зберігаються за обробки розчинами нанометалів наведені на рисунках 4 – 6. Найбільшим вмістом титрованих кислот при закладанні плодів на зберігання характеризувалися плоди груші сорту Киргизька зимова – 0,30%, дещо нижчою кислотністю характеризувалися плоди сортів Вікторія та Талгарська красуня, які містять менше на 0,25 і 0,24% відповідно органічних кислот ніж у Киргизькій зимовій.

Протягом зберігання відбувається зниження титрованої кислотності плодів груші незалежно від сорту і варіанту обробки.

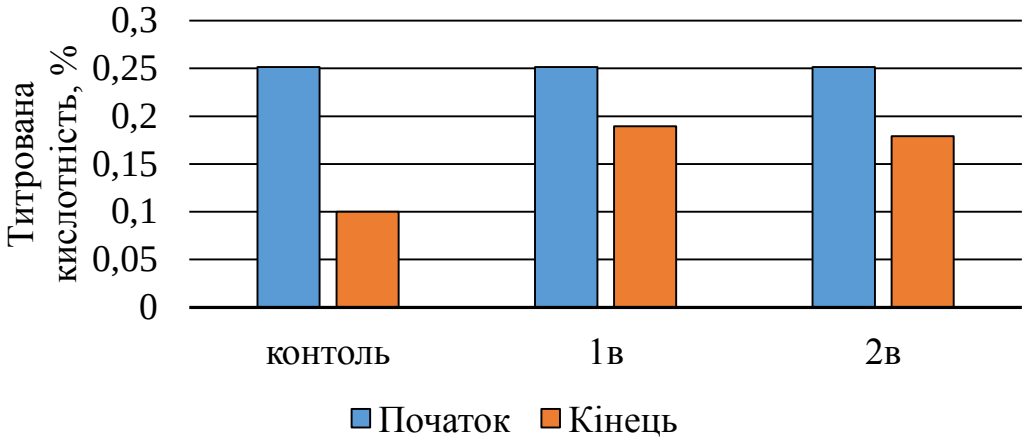



Рис. 4. Титрована кислотність плодів груші сорту Вікторія протягом зберігання за обробки нанометалами, %.

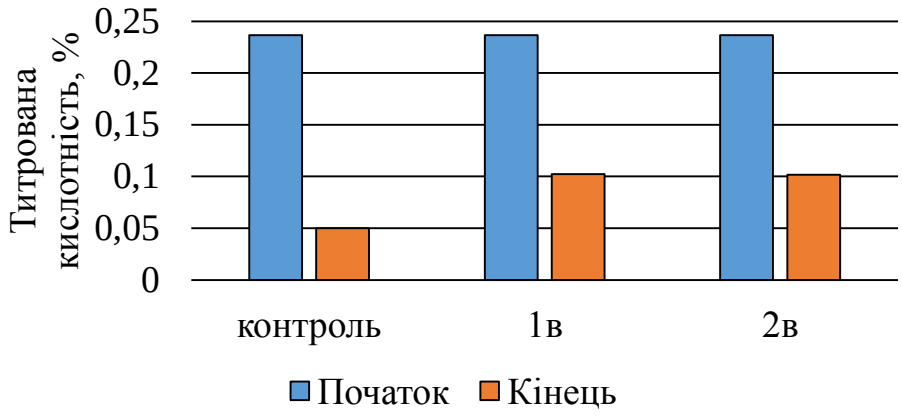



Рис. 5. Титрована кислотність плодів груші сорту Талгарська красуня протягом зберігання за обробки нанометалами, %.

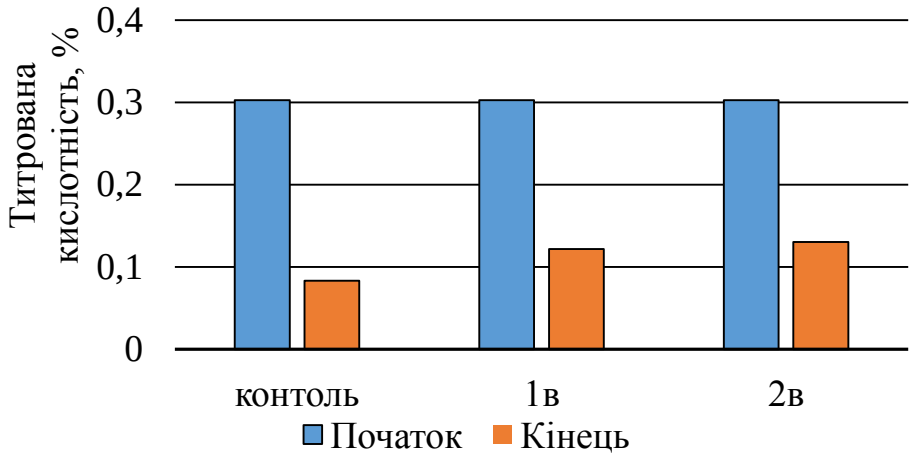



Рис. 6. Титрована кислотність плодів груші сорту Киргизька зимова протягом зберігання за обробки нанометалами, %.

Проте величина втрат у плодах контрольних варіантів та дослідних є різною. Так середні втрати вільних кислот у плодах

контрольних варіантів становили 70 % від початкового значення, з коливанням від 60% - у плодів сорту Вікторія до 79 % у плодів сорту Талгарська красуня.

Обробка плодів розчинами нанометалів істотно зменшувала рівень втрат титрованих кислот. При цьому середні втрати у дослідних варіантах знаходились на рівні 47%, та у межах одного сорту істотно не відрізнялися між варіантами обробки.

Мінімальні втрати титрованих кислот – на рівні 24 % (варіант 1) та 28 % (варіант 2) були зафіксовані у плодів сорту Вікторія.

Результатами двохфакторного аналізу встановлено що на рівень втрат вільних кислот протягом зберігання за обробки нанометалами основний вплив мають сортові особливості плодів (фактор А) з часткою впливу майже 64% (рис. 7). Вплив фактору В – обробки розчинами нанометалів – є менш значущим з часткою впливу близько 29%. Частка впливу взаємодії факторів АВ та залишкових факторів становить відповідно 3,5 та 3,4 %.

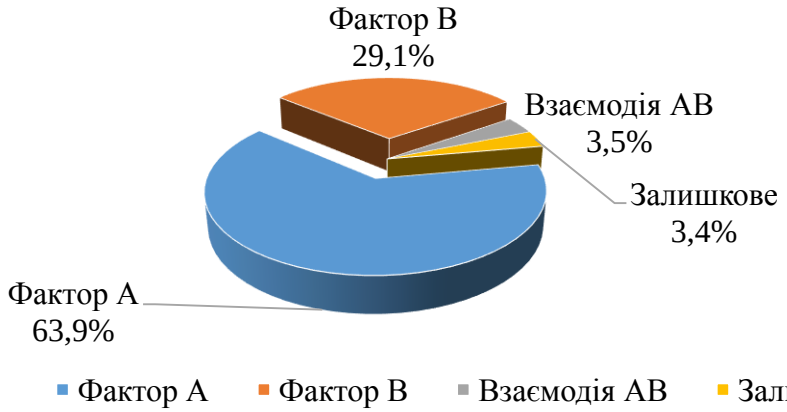



Рис. 7. Вплив факторів на втрати титрованих кислот при зберіганні плодів груші за обробки розчинами нанометалів: А – фактор сорту, В – фактор обробки, АВ – взаємодія факторів, залишкове.

Іншим важливим показником, який характеризує поживну цінність плодів та їх смак є цукри, цукрами, які представлені у плодах груші, головним чином, моносахаридами – фруктозою та глюкозою і дисаридом – сахарозою.

Результати визначення вмісту цукрів наведені на рисунках 8 – 10. Найбільший вміст цукрів при закладанні на зберігання зафіксований у плодах груші сорту Вікторія – 12,12%. У плодах сорту Талгарська красуня містилося близько 10,3%, а Киргизька зимова – 8,9% загального цукру.

При зберіганні плодів за обробки нанометалами відбувається зменшення вмісту цукрів у всіх досліджених сортах груші, незалежно

від варіанту обробки. Проте рівень втрати цукрів у контрольних та дослідних плодів був різним.

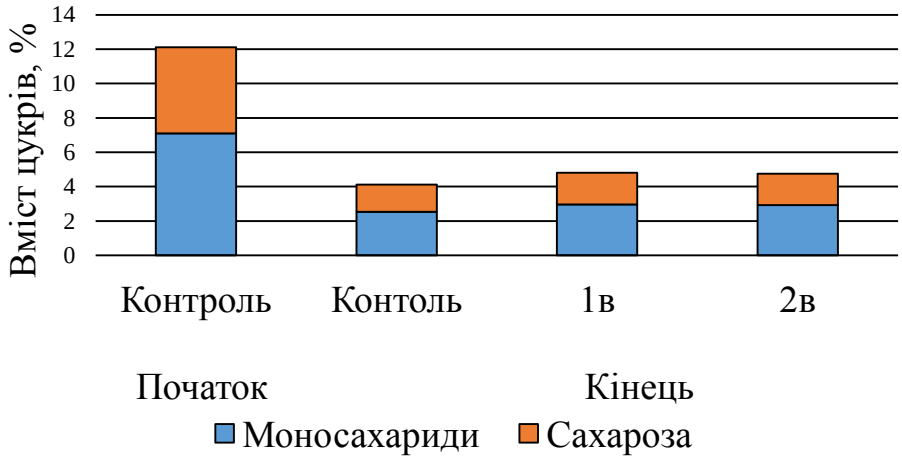



Рис. 8. Вміст цукрів у плодах груші сорту Вікторія при зберіганні за обробки розчинами нанометалів, %.

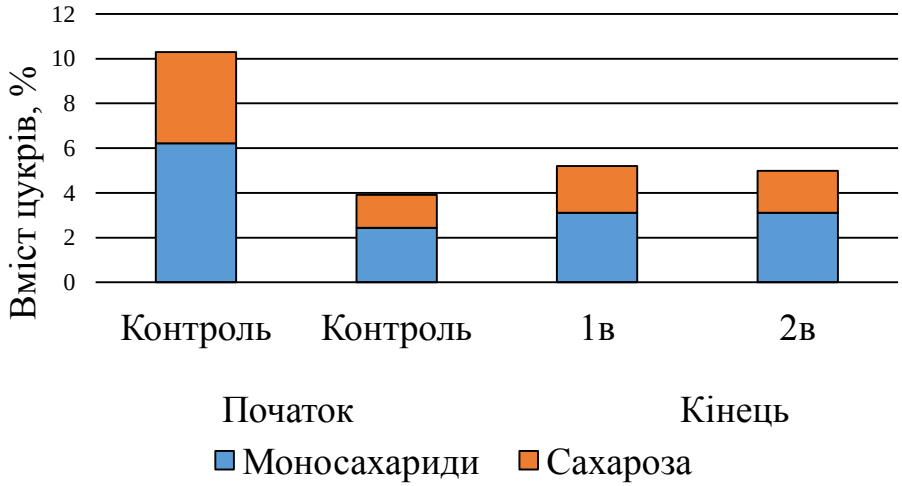



Рис. 9. Вміст цукрів у плодах груші сорту Талгарська красуня при зберіганні за обробки розчинами нанометалів, %.

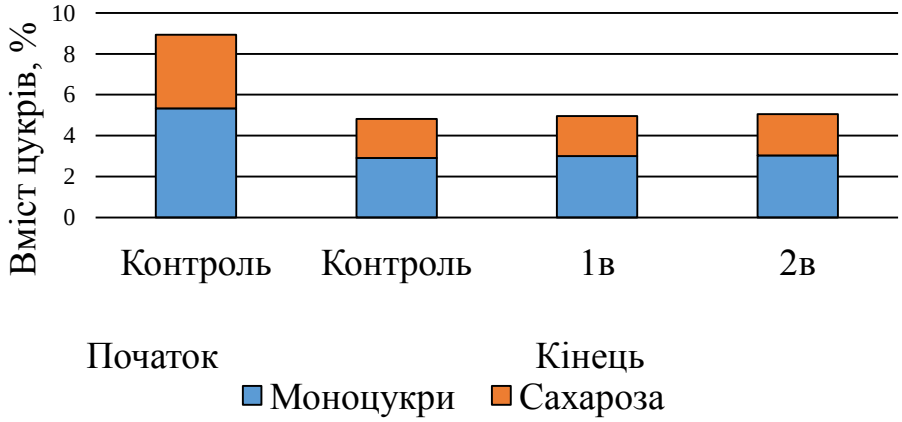



Рис. 10. Вміст цукрів у плодах груші сорту Киргизька зимова при зберіганні за обробки розчинами нанометалів, %.

Так максимальними втратами характеризувалися плоди контрольних варіантів. При цьому середні втрати становили 58%, з коливанням від 46% - у плодів груші сорту Киргизька зимова до 66% - у плодів сорту Вікторія. Середні втрати сахарози становили 62 %, з коливанням від 53% - у плодах сорту Киргизька зимова до 68 % - у плодах сорту Вікторія.

Як відомо, сахароза вважається критерієм визначення збереженості плодів: чим більше у плодах міститься сахарози, тим вище їх збереженість. Коли у плодах зникає вся сахароза, то вони стають не придатними до зберігання. Що стосовно дослідних плодів, то їх середні втрати загального цукру становили 52% та в межах одного сорту статистично не відрізнялися між собою. Найбільшими втратами характеризувалися дослідні плоди сорту Вікторія(60% - варіант 1, 61 % - варіант 2), найменшими – плоди сорту Киргизька зимова ( відповідно 45 та 44%).

Середні втрати сахарози у дослідних плодах становили 54 %, що на 8 % менше, ніж у плодах контрольного варіанту. Найбільшу кількість сахарози серед дослідних плодів втратили плоди сорту Вікторія (63%), найменшу – плоди сорту Киргизька зимова (В 1 – 46 %, В 2 – 44%).

Двохфакторним аналізом підтверджено, що домінуючий вплив на величину втрат загального вмісту цукрів при зберіганні плодів груші за обробки розчинами нанометалів має фактор сорту (фактор А) з часткою впливу майже 94 % (рис. 11). Частки впливу інших факторів є не істотними і становлять відповідно: фактору В (варіант обробки) – 4,5%, взаємодії факторів АВ – 1,7%, залишкових факторів – 0,2%.

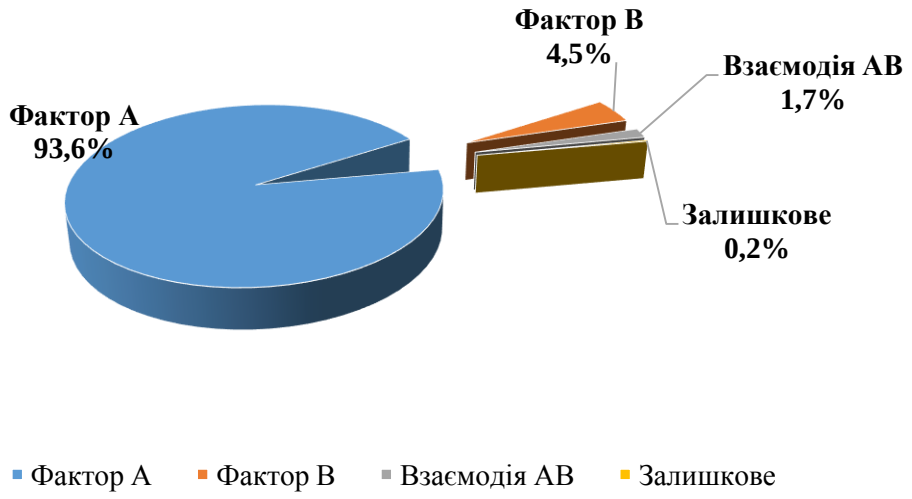



Рис. 11. Вплив факторів на втрати цукрів при зберіганні плодів груші за обробки розчинами нанометалів: А – фактор сорту, В – фактор обробки, АВ – взаємодія факторів, залишкове.

Таким чином, післязбиральна обробка розчинами нанометалів статистично достовірно зменшує інтенсивність витрати субстратів дихання (цукрів та органічних кислот) порівняно з контрольними плодами, проте рівень їх втрат, в першу чергу, визначається сортовими особливостями плодів груші.

Об'єктивним показником, який характеризує смакові якості плодів, є цукрово-кислотний індекс (ЦКІ). Він визначається як відношення відсоткового вмісту цукрів до відсоткового вмісту кислот.

Поріг відчуття кислого смаку різних цукрів і кислот неоднаковий, а вміст їх в плодах мінливий, тому точно розрахувати точку компенсації смаку важко. Фізіологічна компенсація солодкого і кислого смаку приблизно може бути обчислена відношенням мінімальних концентрацій цукрів і кислот, які відчуваються на смак (поріг відчуттів). Для різних кислот поріг відчуття кислого смаку (г на 100 мл розчину) становить: лимонної 0,0154, яблучної 0,0107, винної 0,0075. Сахароза починає відчуватися при концентрації 0,38 % [25].

На думку багатьох авторів найбільш гармонійним смаком відрізняються плоди з ЦКІ 15 – 30. Якщо цей показник вище 30, то смак плодів буде надмірно солодким, нижче 15 – занадто кислим [25, 26].

Зміни ЦКІ плодів груші при зберіганні за обробки нанометалами наведені у таблиці 2.

Таблиця 2

**Цукрово-кислотний індекс плодів груші протягом зберігання за обробки розчинами нанометалів, в.о.**

| Помологічний сорт | Періоди зберігання | | | |
|---|---|---|---|---|
| | початок зберігання | кінець зберігання | | |
| | | контроль | В 1 | В 2 |
| Вікторія | 48,5 | 41,2 | 25,3 | 26,4 |
| Талгарська красуня | 42,9 | 78,4 | 50,9 | 40,9 |
| Киргизька зимова | 29,8 | 57,9 | 48,9 | 38,9 |

При закладанні плодів на зберігання найбільш гармонійним смаком характеризувалися плоди груші сорту Киргизька зимова, ЦКІ яких становив близько 30 в.о. Смак плодів інших сортів груші характеризувався як надмірно солодкий (ЦКІ >30 в.о.).

Після зберігання у плодах груші сорту Вікторія внаслідок більш високої витрати цукрів та меншої титрованих кислот, відбулося зниження їх ЦКІ. Внаслідок чого плоди дослідних варіантів характеризувалися найбільш гармонійним смаком (ЦКІ 25 та 26 в.о.).

У плодах інших сортів відзначається зростання ЦКІ після процесу зберігання, причому як у контрольних, так і дослідних плодах. Але слід зазначити що ЦКІ плодів дослідних варіантів був

істотно нижчим, ніж у контрольних плодів, а отже і смак їх був більш гармонійним.

Таким чином, післязбиральна обробка розчинами нанометалів сприяла формуванню більш гармонійного смаку плодів груші різних помологічних сортів протягом періоду зберіганню.

**Висновки.** В результаті досліджень встановлено, що обробка розчинами нанометалів сприяла стабілізації інтенсивності дихання плодів на рівні 20 мг $CO_2$ кг/год протягом всього періоду зберігання. Незначне підвищення інтенсивності дихання (у 1,3 рази) було зафіксовано на 180 добу зберігання плодів груші сорту Киргизька зимова за обробки 60 %-вим розчином нанометалів (варіант1). Поряд з цим, у плодах контрольного варіанту спостерігалося клімактеричне зростання дихання на 90…120 добу зберігання.

Визначено, що середні втрати титрованих кислот у плодах контрольних варіантів становили 70 %, а цукрів 58% від початкового значення. Обробка плодів розчинами нанометалів зменшувала середній рівень втрат титрованих кислот протягом періоду зберігання в середньому на 23%, а загального цукру на 6%, сахарози – на 8%. При цьому, в межах одного сорту зазначений рівень втрат був майже однаковим та статистично не змінювався залежно від варіанту обробки.

**Список використаних джерел**

1. *Лісіна А. В., Онучін Ю. Н., Воробьев В. Ф.* Вплив обробок антиоксидантами і високими дозами $CO_2$ на зміну хімічного складу плодів груші при зберіганні. *Садівництво і виноградарство*. 2010. № 1. С. 9-11.

2. *Сердюк М. Є.* Використання антиоксидантних препаратів для запобігання біотичним та абіотичним стресам під час зберігання плодів та ягід. *Хімія, агрономія, сервіс*. 2010. № 7. С. 52-53.

3. *Amiot-Carlin M. J.* Fruit and vegetable consumption: what benefits, what risks? *La Revue du praticien*. 2019. Vol. 69 (2). P. 139-142.

4. Effect of tamarindus coating on post-harvest quality of apples and pears stored at different conditions / *A. M. Mohite* [et al.]. *Carpathian Journal of Food Science & Technology*. 2018. Vol. 10, № 3. P. 17-25.

5. *Окара А. И.* Нанотехнологии в производстве пищевых продуктов: состояние нормативной базы и проблемы. *Вестник ХГАЭП*. 2011. № 1 (52). С. 79-85.

6. The Role of Nanotechnology in the Fortification of Plant Nutrients and Improvement of Crop Production / *E. E. Elemike* [et al.]. *Applied Sciences*, 2019. 9(3). P. 499. DOI: 10.3390/app9030499.

7. Applications and implications of nanotechnologies for the food sector / *Q. Chaudhry* [et al.]. *Food Addit. Contam*. 2008. Vol. 25. P. 241–258. DOI: 10.1080/02652030701744538.

8. *Chaudhry Q, Castle L.* Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. *Trends Food Sci Technol*. 2011. Vol. 22. P. 595–603.

9. *Chen H., Weiss J., Shahidi F.* Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *Food Technol*. 2006. Vol. 60. P. 30–36.

10. *Ozimek L., Pospiech Ed., Narine S.* Nanotechnologies in food and meat processing. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment*. 2010. Vol. 9. P. 401–412.

11. *Senturk Ah., Yalcin B., Otles S.* Nanotechnology As A Food Perspective. *Journal of Nanomaterials& Molecular Nanotechnology.* 2013. Vol. 2, № 6. DOI: 10.4172/2324-8777.1000125.

12. *Chen L., Remondetto G., Subirade M.* Food protein-based materials as nutraceutical delivery systems. *Trends Food Science & Technology*. 2006. Vol. 17. P. 272–283. DOI: 10.1016/j.tifs.2005.12.011.

13. Нанотехнологии в сельском хозяйстве / сост. Н. И. Кугутина. Курск: Курская областная научная библиотека им. Н. Н. Асеева, 2012. С. 19.

14. *Ramachandraiah K., Han Sung Gu, Chin Koo Bok.* Nanotechnology in Meat Processing and Packaging: Potential Applications — A Review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*. 2015. Vol. 28. P. 290–302. DOI: https://doi.org/10.5713/ajas.14.0607.

15. *Будкевич Р. О., Евдокимов И. А.* Безопасность использования наноразмерных частиц. *Молочная промышленность*. 2010. № 1. С. 46-49.

16. Safety aspects of nanotechnology applications in food packaging / *A. Dimitrijevica* [et al.]. *Procedia Food Science*. 2015. Vol. 5. P. 57-60. DOI: 10.1016/j.profoo.2015.09.015.

17. Colloidal silver solutions with antimicrobial properties / *A. Petica* [et al.]. *Materials science and engineering.* 2008. Vol. 152. P. 22-27. DOI: 10.1016/j.mseb.2008.06.021.

18. *Raghupathi K. R., Koodali R. T, Manna A. C.* Size-Dependent Bacterial Growth Inhibition and Mechanism of Antibacterial Activity of Zinc Oxide Nanoparticles. *Langmuir*. 2011. Vol. 27 (7). P. 4020–4028. DOI: 10.1021/la104825u.

19. *Brayner R.* Toxicological Impact Studies Based on Escherichia coli Bacteria in Ultrafine ZnO Nanoparticles Colloidal Medium. *Nano Lett*. 2006. Vol. 6, № 4. P. 866–870.

20. Изучение антибактериального действия наночастиц меди и железа на клинические штаммы Staphylococcus aureus / *И. В.*

*Бабушкина* и др. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2010. Т. 6. № 1. С. 11–14.

21. *Geiser M., Kreyling W.* Deposition and biokinetics of inhaled nanoparticles. *Part FibreToxicol*. 2010. Vol. 7, № 1. P. 2. DOI: 10.1186/1743-8977-7-2.

22. Вплив наночастинок металів на зброджування пивного сусла / *Д. В. Карпенко* та ін. *Пиво і напої*. 2012. №. 1. С. 16-17.

23. *Ульберг З., Грузина Т., Карпов О.* Нанотехнології в медицині: роль колоїднохімічних процесів. *Вісник національної академії наук України*. 2008. № 8. С. 28-41.

24. Наноматериалы. Нанотехнологии. Наносистемная техника: мировые достижения за 2005 год / под ред. П. П. Мальцева. Москва: Техносфера, 2006. 149 с.

25. Quality changes during ripening of plums (Prunus domestica L.) / *V. Usenika* [et al.]. *Food Chemistry*. 2008. Vol. 111, № 4. P. 830–836. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.04.057.

26. *García-Mariño N. F., de la Torre Matilla A. J.* Organic Acids and Soluble Sugars in Edible and Nonedible Parts of Damson Plum (Prunus domestica L. subsp. insititia cv. Syriaca) Fruits During Development and Ripening. *Food Science and Technology International*. 2008. Vol. 14, № 2. P. 187-193. DOI: 10.1177/1082013208092150.

## ВЛИЯНИЕ РАСТВОРОВ НАНОМЕТАЛЛОВ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ХРАНЕНИИ ПЛОДОВ ГРУШИ

**Сердюк М. Е., Кюрчева Л. Н., Андрущенко Н. В., Жукова В. Ф.**

***Аннотация*** - исследования посвящены изучению и научному обоснованию влияния растворов нанометаллов на интенсивность окислительно-восстановительных процессов в плодах груши течение длительного хранения. В результате исследований установлено, что обработка растворами нанометаллов способствовала стабилизации интенсивности дыхания плодов на уровне 20 мг $CO_2$ кг/ч в течение всего периода хранения. Незначительное повышение интенсивности дыхания (в 1,3 раза) было зафиксировано на 180 сутки хранения плодов груши сорта Киргизская зимняя при обработке 60 процентным раствором нанометаллов (вариант 1). Наряду с этим, в плодах контрольного варианта наблюдался климактерический подъём дыхания на 90 ... 120 сутки хранения. Определено, что средние потери титруемых кислот в плодах контрольных вариантов составляли 70%, а сахаров 58% от начального значения. Обработка плодов растворами нанометаллов уменьшала средний уровень потерь титруемых кислот в течение периода хранения в среднем на 23%, а общего сахара на 6%, сахарозы - на 8%. Показано, что послеуборочная обработка растворами нанометаллов способствовала формированию более гармоничного вкуса плодов груши разных помологических сортов в период хранения.

***Ключевые слова***: плоды груши, интенсивность дыхания, титруемая кислотность, сахара, сахаро-кислотный индекс, вкус, хранение.

## INFLUENCE OF NANOMETAL SOLUTIONS ON THE INTENSITY OF OXIDATION-REDUCTION PROCESSES IN THE STORAGE OF PEAR FRUIT

**M. Serdyuk, L. Kiurcheva, N. Andrushchenko, V. Zhukova**

***Summary***

Researches are devoted to the study and scientific substantiation of the influence of solutions of nanometals on the intensity of oxidative-reduction processes in the fruit of the pear during the long-term storage. To store fruits, pears were harvested when the ergonomic degree of ripeness reached, typical in shape and color. Inspection, sorting and calibration of the fruit were carried out prior to storage. The treatment of products with solutions of nanometals was carried out in the preparatory compartment of the storage with forced cooling. The fruits were loaded into baths with working solutions of nanometals. After drying, the fruits were packed in containers. At the same time, the pears were arranged diagonally, guiding the fistula in the intervals between the fruits of the next row. Treatment options: control - fruit pears without processing; option 1: 60% nanometal solution which consists of Ag and Mg; Option 2: 1 percent solution of nanometals which consists of Ag and Mg. In addition to nanometals, glycerol, propylene glycol and water were included in the working solutions. Pear fruit storage was carried out in a refrigerating chamber at a temperature of 0 ± 2 ° C, relative humidity of 95%. As a result of the research, it was found that treatment with nanometal solutions contributed to stabilizing the intensity of the respiration of the fruits at a level of 20 mg CO2 kg / h during the whole period of storage. A slight increase in the intensity of respiration (1.3 times) was recorded for 180 days of storage of pears of the Kyrgyz winter variety when treated with 60% nanometal (option 1). Along with this, in the fetuses of the control variant, the climacteric growth of respiration was observed for 90 ... 120 days of storage. It was determined that the average loss of titratable acids in fruits of control variants was 70%, and sugars were 58% of the initial value. Fruit treatment with nanometal solutions reduced the average loss of titratable acids by 23% on average during the storage period, and by 6% in total sugars and sucrose by 8%. In this case, within the same grade, the specified level of loss was almost the same and did not change statistically depending on the variant of processing. It was shown that post-harvest treatment with nanometal solutions contributed to the formation of a more harmonious taste of the pears of different pomological varieties during storage.

**Keywords:** pear fruits, respiration rate, titratable acidity, sugars, sugar-acid index, taste, storage.

**УДК 664.856** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-56**

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЖЕЛЕ, ЗБАГАЧЕНОГО АСКОРБІНОВОЮ КИСЛОТОЮ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

**Євлаш В. В., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-8525-8937**
**Пілюгіна І. С., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0001-6159-3258**
**Железняк З. В.** **https://orcid.org/0000-0003-3238-3926**
*Харківський державний університет харчування та торгівлі*
e-mail: inna.piliugina@ukr.net

***Анотація*** **–** у статті наведено результати досліджень органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних властивостей желе з використанням концентрованого яблучного соку, збагаченого аскорбіновою кислотою під час зберігання за температури 0…6° С, відносній вологості не більше 75% упакованим у пластиковий стаканчик з кришкою місткістю 0,125 дм$^3$ упродовж 2 місяців. Показано, що наприкінці гарантованого терміну зберігання желе, збагачене аскорбіновою кислотою за показниками якості відповідало вимогам чинної нормативної документації на даний вид продукції. Доведено, що желе, збагачене аскорбіновою кислотою є функціональним продуктом, оскільки наприкінці гарантованого терміну зберігання вміст аскорбінової кислоти у 100 г виробах становив 38 мг, що складає 47,5% від рекомендованої добової норми споживання для дорослих.

***Ключові слова:*** концентрований яблучний сік, аскорбінова кислота, желе.

**Постановка проблеми.** На сьогодні значна частина населення України знаходиться у стані постійної полівітамінної та мінеральної недостатності, що пов’язано із нерегулярністю та одноманітністю харчування, втратою та руйнуванням вітамінів у процесі технологічної переробки продуктів, їх тривалим і неправильним зберіганням та нераціональною кулінарною обробкою тощо. У раціоні чоловіків дефіцит аскорбінової кислоти досягає 16,3%, ретинолу – 19,2%, токоферолу 18%. У раціоні жінок дефіцит даних вітамінів складає 15,5, 11,4 та 18% відповідно [1]. Тому велика кількість досліджень присвячена використанню рослинних добавок і вітамінів у технологіях харчових продуктів [2–6]. Для збагачення харчових продуктів можна використовувати пюре, соки, екстракти, порошки з різної рослинної сировини.

Серед фруктових соків спеціалісти відмічають концентровані соки. ТОВ «Яблуневий сад» (м. Вінниця, Україна) випускає концентровані соки з яблук солодких і кислих сортів. Використання концентрованих яблучних соків у поєднанні з аскорбіновою кислотою в технології желе дозволяє одержати продукт із високим

© Євлаш В. В., Пілюгіна І. С., Железняк З. В.

антиоксидантним потенціалом та підвищеною харчовою цінністю. Однак, розробка нових технологій желе із використанням концентрованих соків і аскорбінової кислоти неможлива без цілеспрямованих досліджень властивостей виробів і оцінки їх якості під час зберігання. Необхідні експериментальні дані можуть бути отримані різними фізико-хімічними та мікробіологічними методами.

**Аналіз останніх досліджень.** У ряді робіт показано, що збереженість аскорбінової кислоти у сировині та виробах залежить від багатьох чинників, а саме: pH середовища [7, 8], температура [8, 9], контакт з киснем повітря [10], присутність купрум(II)- та ферум(III)-катіонів тощо. Так, науковцями встановлено, що термічна обробка апельсинових соків і нектарів за температури 100°С протягом 5 хвилин веде до зниження вмісту аскорбінової кислоти з 13,2 до 8%. При заморожуванні соків та нектарів показники вмісту аскорбінової кислоти змінювалися несуттєво. Доведено, що з метою стабілізації аскорбінової кислоти доцільно до складу соків додавати сорбінову кислоту [8].

Використання аскорбінової кислоти у технології карамелі на основі сахарози потребує введення вітаміну С у двічі більшій кількості від бажаного вмісту, оскільки 50% її руйнується під час виготовлення виробу. У процесі зберігання карамелі втрати аскорбінової кислоти не відбуваються.

Авторами роботи [9] доведено, що збереженню аскорбінової кислоти сприяє зберігання виробів за пониженої температури. Так, після трьох місяців зберігання гарбузового мармеладу, збагаченого аскорбіновою кислотою, за температури (10±3) °С вміст вітаміну С знизився на 17,3%, у той час як зберігання виробів за температури (18±3) °С призвело до зниження вмісту вітаміну С на 36,1%.

Виявлено переваги холодильного зберігання столових сортів винограду у газовому середовищі з пониженим вмістом кисню і підвищеним вмістом карбон діоксиду. Показано, що максимальна кількість L-аскорбінової кислоти зберігалась у зразках винограду за температури зберігання t = 3±1ºС до 75 діб [10].

Однак, питання дослідження властивостей желе, збагаченого аскорбіновою кислотою не вирішувалось та оцінка його якості під час зберігання не проводилась. Тому вирішення цього питання вважаємо актуальним.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи було дослідження органолептичних, фізико-хімічних, мікробіологічних властивостей желе, збагаченого аскорбіновою кислотою, та визначення кількості вітаміну С у продукті під час зберігання.

**Основні матеріали та методи дослідження.** Об'єктами дослідження були органолептичні, фізико-хімічні, мікробіологічні властивості желе та кількість аскорбінової кислоти у продукті протягом двох місяців зберігання.

Предмет дослідження – желе на желатині та концентрованому яблучному соці, збагачене аскорбіновою кислотою.

Технологічний процес виробництва желе, збагаченого аскорбіновою кислотою, включав наступні операції:

– підготовка сировини до виробництва;

– замочування драглеутворювача;

– приготування цукро-желатинової суміші;

– охолодження і розділ желейної маси;

– розлив желейної маси; пакування й маркування желе.

У виробництві желе як драглеутворювач використовували желатин харчовий Bloom 240 (Німеччина), як збагачувальні добавки – концентрований яблучний сік виробництва ТОВ «Яблуневий сад» (м. Вінниця) та аскорбінову кислоту.

Якісну характеристику желе та її дослідження протягом терміну зберігання здійснювали виходячи з основних органолептичних показників, а саме: зовнішній вигляд, смак і запах, колір, консистенція.

Кількісну характеристику якості желе та її дослідження протягом терміну зберігання здійснювали виходячи з основних фізико-хімічних показників, а саме масова частка розчинних сухих речовин, масова частка титрованих кислот в перерахунку на яблучну кислоту, які визначали за допомогою стандартних методів.

Вміст аскорбінової кислоти у нових видах желе визначали методом гальваностатичної кулонометрії [11]. Досліджуваний зразок желе перед внесенням у комірку поміщали в термостат із постійною температурою 37 °С на 5 хвилин. Отриманий розчин використовували для вимірів.

У кулонометричну комірку вносили $(0{,}2\ldots5{,}0)\times10^{-3}$ кг одержаного розчину і титрували електрогенерованим йодом за сили струму 1…5 мА. Йод генерували з 0,1 М розчину калій йодиду у буферному розчині з pH=4,01. Фіксування точки еквівалентності здійснювали потенціометричним методом. За експериментальними даними розраховували вміст аскорбінової кислоти g (мг/100 г) за формулою:

$$\mathrm{g} = \frac{100 \cdot I \cdot t \cdot \mathrm{M}}{n \cdot F \cdot m_p}, \qquad (1)$$

де $I$ – сила струму, А;

$t$ – час електролізу, с;
M – молярна маса аскорбінової кислоти, г/моль;
F – стала Фарадея, Кл/моль;
$n$ – кількість електронів у напівреакції окиснення титранту;
$m_p$ – маса розчину, г;

Мікробіологічну забрудненість маршмелоу визначали за показниками КМАФАМ, КУО в 1 г за ГОСТ 10444.15-94, БГКП (коліформи) в 1 г за ГОСТ 30518-97, дріжджі та плісеневі гриби, КУО в 1 г за ГОСТ 10444.12-88. Визначення патогенних мікроорганізмів, у т. ч. сальмонел в 25 г проводили відповідно до діючої «Інструкції про порядок розгляду, обліку й проведення лабораторних досліджень в установах санітарно-епідеміологічної служби під час харчових отруєнь» № 1135, ГОСТ 26968-86.

**Результати.**

Результати визначення органолептичних, фізико-хімічних та мікробіологічних показників підтвердили якість желе, збагаченого аскорбінової кислотою. Встановлено, що свіжовиготовлене желе було прозорим в тонкому шарі, без завислих часток, без бульбашок повітря та піни. Колір желе, збагаченого аскорбіновою кислотою – яскраво виражений янтарний. Желе мало кислувато-солодкий смак, властивий яблукам, без стороннього присмаку. Запах желе – властивий яблукам, без стороннього запаху. Продукт представляв собою однорідну рівномірну драглеподібну масу, яка зберігає свою форму на горизонтальній поверхні і вразно обрисовані грані під час розрізання ножем, без зацукровування.

Показник масової частки розчинних сухих речовин желе, збагаченого аскорбіновою кислотою становив 27,72%, масова частка титрованих кислот у перерахунку на яблучну кислоту – 0,9%. Вміст аскорбінової кислоти у желе дорівнював 38 мг/100 г виробу, що складає 47,5% добової норми для дорослої людини.

Аналіз свіжовиготовленого виробу показав, що початкова кількість мікроорганізмів у желе була у 10 разів нижче норми, БГКП у 1 г та патогенних мікроорганізмів у 25 г не виявлено. Кількість пліснявих грибів становила 2 КУО/г. Це свідчить про повну відповідність желе вимогам нормативної документації на даний вид продукції.

Визначено органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості нового виду желе під час зберігання за температури 0…6° С, відносній вологості не більше 75% упакованим у пластиковий стаканчик з кришкою місткістю 0,125 дм$^3$ протягом 2 місяців. За контрольні значення прийняті показники якості желе, збагаченого

аскорбіновою кислотою, що отримані одразу після його приготування. Контрольними точками під час проведення експерименту були: 1-ий, 2-ий місяці.

Встановлено, що наприкінці гарантованого терміну зберігання органолептичні та фізико-хімічні показники якості желе, збагаченого аскорбіновою кислотою, відповідали вимогам нормативної документації на даний вид продукції. Показник масової частки розчинних сухих речовин желе становив 27,85%, масова частка титрованих кислот у перерахунку на яблучну кислоту – 1,0%. Вміст аскорбінової кислоти у продукті під час зберігання не змінився і дорівнював 38 мг/100 г виробу.

За результатами аналізу встановлено, що желе виготовлене за новою рецептурою, протягом регламентованого терміну зберігання відповідало санітарно-мікробіологічним нормам. Наприкінці терміну зберігання показник КМАФАМ для желе становив $2\times10^2$ КУО/г. БГКП у 1 г та патогенні мікроорганізми у 25 г в зразках не виявлені. Кількість пліснявих грибів становила 5 КУО/г.

**Висновки.**

1. Проведена оцінка якості желе з використанням концентрованого яблучного соку, збагаченого аскорбіновою кислотою.
2. Встановлено, що органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні показники якості нового виду желе наприкінці гарантованого терміну зберігання відповідають вимогам нормативної документації на даний вид продукції.
3. Желе, збагачене аскорбіновою кислотою, є функціональним харчовим продуктом, оскільки протягом гарантованого терміну зберігання вміст аскорбінової кислоти у 100 г виробу дорівнював не менше 38 мг, що складає 47,5 % від рекомендованої добової норми споживання для дорослих.

**Список використаних джерел**

1. *Омельчук С. Т., Велика Н. В., Аністратенко Т. І.* Актуальні проблеми гіповітамінозів в Україні. *Східноєвропейський журнал громадського здоров'я.* 2011. № 1. С. 187-188.

2. *Спиричев В. Б., Трихина В. В., Поздняковский В. М.* Обогащение пищевых продуктов микронутриентами – надежный путь оптимизации их потребления. *Ползуновский вестник*. 2012. № 2/2. С. 9-15.

3. *Дорохович А. Н. Соловьева О. Л., Дорохович В. В.* Витаминизация кондитерских изделий. *Продукты и ингредиенты*. 2011. № 3. С. 26-28.

4. *Воробьева И. С.* Обогащать кондитерские изделия витаминами и минеральными веществами. *Кондитерское производство*. 2004. № 2. С. 10-12.

5. Використання харчових добавок на основі моркви у харчовій промисловості / *І. Ф. Малежик* та ін. *Проблемы старения и долголетия*. 2016. Т. 25, № 2. С. 318–323.

6. Льодяникова карамель пористої структури з додаванням аскорбінової кислоти: пат. 127899 Україна: МПК A23G 3/00. № u2018 02590; заявл. 15.03.2018; опубл. 27.08.2018, Бюл. № 16.

7. Устойчивость аскорбиновой кислоты в водных и водно-органических растворах для количественного определения / *Г. Б. Голубицкий* и др. *Журнал аналитической химии*. 2007. Т. 62, № 8. С. 823-828.

8. *Скропишева О. В., Гнідець В. П.* Дослідження впливу умов технологічної обробки апельсинових соків на вміст аскорбінової кислоти. *Вісник ХНТУ*. 2017. № 1(60). С. 150-158.

9. *Табаторович А. Н., Степанова Е. Н.* Разработка и оценка качества тыквенного мармелада, обогащенного аскорбиновой кислотой. *Техника и технология пищевых производств*. 2012. № 4. С. 1–7.

10. *Колодязная В. С., Коидов Ш. М.* Кинетика реакции окисления аскорбиновой кислоты при холодильном хранении столовых сортов винограда в контролируемой атмосфере. *Научный журнал НИУ ИТМО. Сер. Процессы и аппараты пищевых производств.* 2015. № 1. С. 96-100.

11. Determination of ascorbic acid amount in gelatin aqueous solutions by galvanostatic coulometry using electrogenerated bromine / *V. Evlash* [et al.]. *Industrial Technology and Engineering*. 2016. Vol. 18, No. 1. P. 22-31.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ЖЕЛЕ, ОБОГАЩЕННОГО АСКОРБИНОВОЙ КИСЛОТОЙ ПРИ ХРАНЕНИИ

**Евлаш В. В., Пилюгина И. С., Железняк З. В.**

***Аннотация*** – в статье приведены результаты исследования органолептических, физико-химических и микробиологических свойств желе с использованием концентрированного яблочного сока, обогащенного аскорбиновой кислотой при хранении при температуре 0...6°С, относительной влажности не более 75%, упакованным в пластиковий стаканчик с крышкой вместимостью 0,125 дм$^3$ в течение 2 месяцев . Показано, что в конце гарантийного срока хранения желе, обогащенное аскорбиновой кислотой, по показателям качества соответствовало требованиям действующей нормативной документации на данный вид продукции. Доказано, что желе, обогащенное аскорбиновой кислотой, является функциональным продуктом, так как в конце гарантийного

срока хранения содержание аскорбиновой кислоты в 100 г изделия равнялось 38 мг, что составляет 47,5% от рекомендованной суточной нормы потребления для взрослых.

***Ключевые слова:*** концентрированный яблочный сок, аскорбиновая кислота, желе.

## STUDY OF PROPERTIES JELLY FORTIFIED ASCORBIC ACID DURING STORAGE

**V. Evlash, I. Piliugina, Z. Zheleznjak**

***Summary***

The article presents the results of studies of the organoleptic, physicochemical and microbiological properties of jelly using concentrated apple juice enriched with ascorbic acid during storage at a temperature of 0 ... 6° C, relative humidity not more than 75% packed in a plastic cup with lid with a capacity of 0.125 $dm^3$ for 2 months. It was shown that, at the end of the warranty period of storage, jelly, enriched with ascorbic acid in the amount of 38 mg/100 g of the product, by organoleptic, physical and chemical quality indicators met the requirements of the current regulatory documentation for this type of product. After 2 months of storage, the appearance, color, taste and smell, as well as the consistency of the jelly remained unchanged. The indicator of the mass fraction of soluble solids of jelly enriched with ascorbic acid was 27.85%, the mass fraction of titrated acids in terms of malic acid was 1.0%.

According to the results of the analysis, it was established that the jelly manufactured according to a new recipe for a regulated storage period complied with sanitary-microbiological standards. At the end of the storage period, the indicator of the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms for jelly was $2 \times 10^2$ CFU/g. Bacteria of the colibacillus group in 1 g and pathogenic microorganisms in 25 g of the sample were not detected. The amount of mold fungi was 5 CFU/g.

It has been proven that jelly using apple juice concentrate enriched with ascorbic acid is a functional product. By the method of galvanostatic coulometry it was determined that at the end of the warranty period of storage the content of ascorbic acid in 100 g of products did not change and amounted to at least 38 mg, which is 47.5% of the recommended daily intake rate for adults.

**Keywords:** apple juice concentrate, ascorbic acid, jelly.

**УДК 631.563.8:635.75** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-57**

# ЗБЕРІГАННЯ ЗЕЛЕНІ КОРІАНДРУ *(CORIANDRUM SATIVUM L.)* В ЖИВИЛЬНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

**Прісс О. П., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-6395-4202**
**Сухаренко О. І., к. с-г. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-7875-1766**
**Коляденко В. В., інженер,** **https://orcid.org/0000-0002-0949-1374**
**Нестеров Ю. Ю.**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: olesyapriss@gmail.com

***Анотація*** - зелень коріандру (Coriandrum sativum L.) одна з найбільш широко використовуваних свіжих трав у світі. Свіжозрізану зелень важко зберігати без втрая якісних характеристик. При дотримання температуро - вологістних режимів, втрата аромату, високі природні втрати маси зелені та її пожовтіння призводять до скорочення терміну зберігання. Для подовження термінів зберігання і стабілізації вмісту біологічно активних речовин запропонована технологія зберігання зелені коріандру в живильному середовищі на основі гідрогелю та хлорофіліпту.

Встановлено, що зберігання зелені коріандру у живильному середовищі з гідрогелем та хлорофіліптом забезпечує подовження терміну зберігання, скорочує природні втрати маси, стабілізує вміст пігментів.

***Ключові слова*:** зелень коріандру, зберігання, живильне середовище, гідрогель, природні втрати маси, пігменти.

**Постановка проблеми**. Завдяки зростаючому усвідомленню переваг збалансованого харчування, плоди та овочі є здоровими продуктами, які користуються постійним попитом споживачів в Україні та цілому світі. Збалансоване харчування може забезпечити необхідну кількість поживних речовин (вуглеводи, білки, жири, вітаміни та мінерали), а також сприяти оздоровленню і знизити ризик розвитку захворювань (наявність антиоксидантних та інших біологічно активних сполук) [1-4]. Овочі є важливою частиною збалансованого харчування, а свіжа зелень - це варіант, який може легко вписатися в зайнятий спосіб життя сучасних споживачів. Виробники зеленних культур постійно розширюють видовий та сортовий асортимент продукції для задоволення очікувань споживачів з точки зору привабливості, свіжості, нових смаків та якості [5].

Використання пряно-ароматичної зелені є звичним у всіх гастрономічних культурах. Традиційно, зеленні культури використовують свіжими, сушеними, замороженими, цілими, порізаними або меленими, для надання виразного смаку їжі та напоям, зменшуючи потребу в солі і жирних приправах [6]. Пряно-ароматичні

© Прісс О. П., Сухаренко О. І., Коляденко В. В., Нестеров Ю. Ю.

зелені культури є лікарськими рослинами, що мають виражену антибактеріальну, протизапальну, противірусну та антиканцерогенну активність [7-9]. Завдяки наявності різноманітних фітонутрієнтів, з антиоксидантними і антимікробними властивостями ароматичні трави використовуються також як консерванти, що відіграють важливу роль у збереженні харчових продуктів і напоїв [7, 10-12].

Значна частина фітонутрієнтів зелених овочів втрачається на етапах післязбиральної обробки, зберігання, і, особливо, під час заморожування, сушіння та консервування [13-16]. Крім того, свіжі зелені культури мають суттєві переваги перед висушеним чи замороженим продуктом, оскільки зберігають притаманний специфічний аромат. Проте дослідження щодо стабільності якості та властивостей зелені протягом терміну зберігання є недостатніми.

**Аналіз останніх досліджень.** Зелень коріандру (Coriandrum sativum L.), яку ще називають кінзою та китайською петрушкою, одна з найбільш широко використовуваних свіжих трав у світі. Кінза – досить популярна зелень в кухні багатьох країн. Свіжу зелень добавляють в салати, а також застосовують для приготування різноманітних страв на основі м'яса, сиру, начинок для пирогів. Ця рослина містить значні кількості ефірних олій, які надають особливий аромат, а також бактерицидні і антиоксидантні властивості [11, 17]. Зберігати свіжу кінзу рекомендують при температурі близько 0 °С та відносній вологості не нижче 95 % [18, 19]. З підвищенням температури зберігання швидко погіршується зовнішній вигляд зелені, знижується її ароматність [18]. Однак, навіть при дотримання температуро - вологістних режимів, втрата аромату, високі природні втрати маси зелені та її пожовтіння призводять до скорочення терміну зберігання. Зелень кінзи при 0 °С зберігається від 9 до 13 днів [20]. Зменшенню втрати аромату, скороченню втрат маси та зниженню пожовтіння сприяє використання плівок для зберігання в умовах модифікованої газової атмосфери. Проте, термін зберігання продукції все ж не перевищує 14 діб [21].

Відомий ефективний спосіб зберігання зелені петрушки на основі живильного середовища з гідрогелю та антиоксидантів, який дозволяє стабілізувати вміст біологічно активних речовин та продовжити термін зберігання до 90 діб [22]. Однак, видова специфіка рослинної сировини, завдяки особливостям хімічного складу, зумовить своєрідну біохімічну відповідь тканин, що вимагає подальших досліджень.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є обґрунтування елементів технології зберігання зелені коріандру, з використанням живильного середовища на основі гідрогелю та хлорофіліпту, що дозволить подовжити терміни зберігання та стабілізувати вміст фітонутрієнтів.

Для реалізації поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

1. Встановити вплив живильного середовища на термін зберігання зелені коріандру.
2. Встановити вплив живильного середовища на природні втрати маси зелені коріандру.
3. З'ясувати вплив живильного середовища на органолептичні показники під час зберігання зелені коріандру.
4. Дослідити вплив живильного середовища на збереженість хлорофілів і каротиноїдів під час зберігання зелені коріандру.

**Методи і матеріали досліджень**. Експериментальні дослідження були проведені в лабораторії технології первинної переробки і зберігання продуктів рослинництва НДІ Агротехнологій та екології Таврійського державного агротехнологічного університету м. Мелітополя. Свіже листя зелені коріандру збирали в пучках по 50 г, зв'язували гумкою, охолоджували до температури близько 5 ° С і транспортували до лабораторії протягом 2 годин після збору. В лабораторії пучки зелені вкладали стеблами в поліетиленовий пакет наповнений гідрогелем концентрацією 1% (варіант 1) та таким же 1%- ним гідрогелем, що містив 0,25 % антиоксиданту хлорофіліпту (варіант 2). Контрольний варіант залишали без живильного середовища. Пакетики з пучками зелені фасували у ящики та зберігали при 1±0,5 °С, відносній вологості повітря 95±3 %. Органолептичну оцінку проводили за допомогою 7 - бальної органолептичної шкали. 7 балів - зелень подібна свіжозібраній за зовнішнім виглядом і запахом, 5 - ліміт продажу, 3 - межа споживання, і 1 - дуже поганий зовнішній вигляд внаслідок в'янення, пожовтіння або розпаду, і втрата аромату [20]. Природні втрати маси оцінювали гравіметричним методом шляхом зважування постійного зразка зелені кожного варіанту. Вміст хлорофілів a та b, каротиноїдів визначали шляхом екстрагування пігментів 100 % ацетоном з наступним визначенням їх оптичної густини спектрофотометрично [23]. Дослідження проводили у трикратній повторності.

**Результати досліджень**. Термін знімання зі зберігання зелені кінзи визначається декількома критеріями. Розглядали три критерії припинення терміну зберігання кінзи: зовнішній вигляд, запах і втрати маси. Кінець терміну зберігання був досягнутий, коли дегустаційний бал за зовнішній вигляд і запах був 5, або коли пучки листя втратили 15 % свіжої маси, що відповідає межі прийнятного в'янення [20]. Термін зберігання зелені кінзи у наших дослідженнях становив від 5 до 18 доби, залежно від варіанту (табл. 1)

Таблиця 1

**Тривалість зберігання зелені коріандру, діб**

| Критерій зняття зі зберігання | Контроль | Варіант 1 | Варіант 2 |
|---|---|---|---|
| Зовнішній вигляд | 10 | 15 | 21 |
| Аромат | 7 | 15 | 18 |
| Втрати маси | 5 | 21 | 21 |

Застосування живильного середовища дозволяє подовжити термін зберігання в 3 рази у порівнянні з контролем. Введення у склад живильного середовища хлорофіліпту подовжує термін зберігання у 3,5 рази відносно контролю.

Як видно з табл. 1, зелень, що зберігалась без живильного середовища, необхідно знімати зі зберігання вже через 5 діб. Головною причиною стало зниження тургору внаслідок природних втрат маси. На сьому добу зберігання зелені, природні втрати маси сягали вже 25 % і продукція була зів'ялою (рис.1).

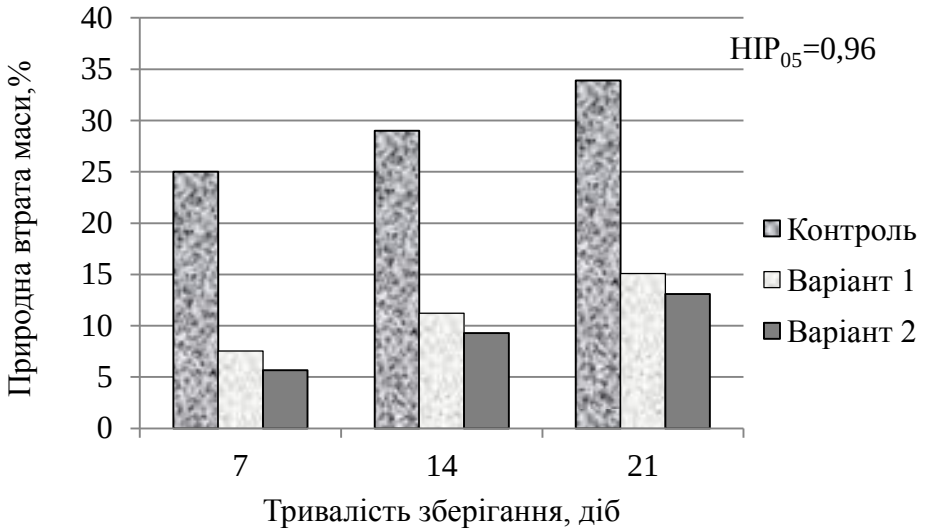



Рис. 1. Природні втрати маси під час зберігання зелені коріандру

Відомо, що живильне середовище на основі гідрогелю дозволяє підтримувати природний тургор рослин і скоротити втрати маси [24]. Подібні результати отримані і в наших дослідженнях. Суттєве скорочення втрат маси забезпечило використання живильного середовища в обох дослідних варіантах За перший тиждень зберігання втрати маси в дослідних варіантах нижчі в 3,3…4,4 рази, ніж в контролі. За 21 добу зберігання зелень кінзи в дослідних варіантах мала природній убуток маси 13,1…15,1 %, що практично в, 2,2..2,5 рази менше, ніж в контрольному варіанті.

Зменшення балу загальної дегустаційної оцінки в усіх варіантах на момент зняття зі зберігання відбувалось, головним чином, за рахунок зниження специфічного аромату зелені коріандру (рис. 2).

Відомо, що в післязбиральний період сума альдегідів, відповідальних за специфічний аромат зелені коріандру, зростає до 3 доби, а відтак постійно знижується [25]. Особливо помітною стає різниця між впливом дослідних варіантів живильного середовища на органолептичні показники зелені коріандру після 21 доби зберігання (рис. 3).

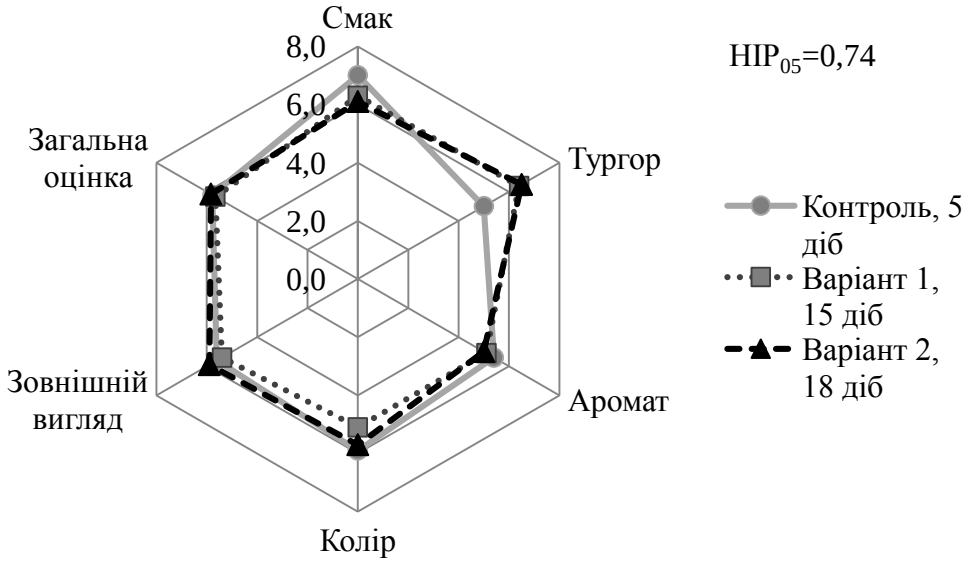



Рис. 2. Органолептична оцінка зелені коріандру на момент зняття зі зберігання, бали.

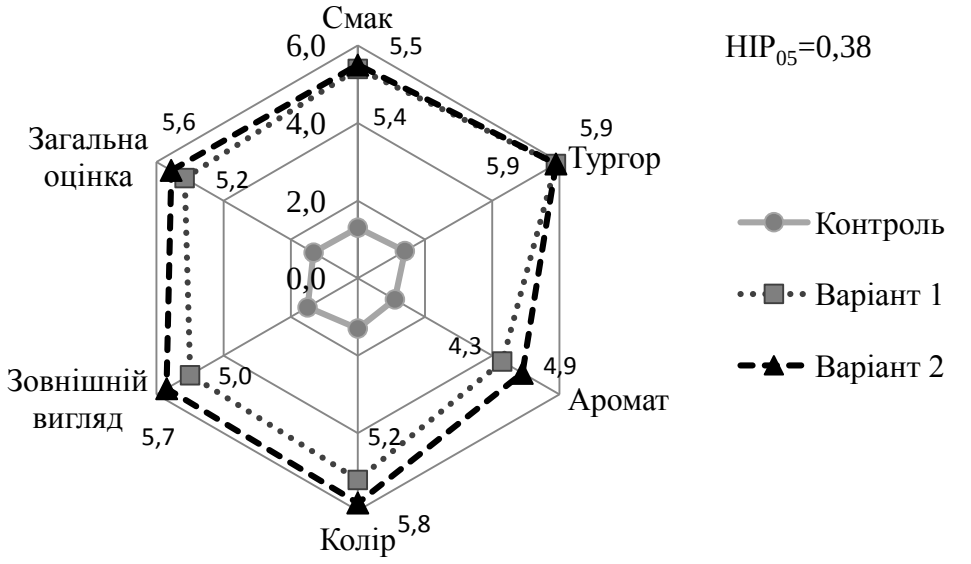



Рис. 3. Органолептична оцінка зелені коріандру після зберігання протягом 21 дня

Після 21 доби зберігання за зовнішнім виглядом зелень коріандру, що зберігався у варіанті 2 все ще залишається привабливою, хоча за показником «аромат» оцінка становить 4,9 бали, тобто нижче ліміту

продажу. Зелень дослідних варіантів достовірно різниться між собою за всіма показниками органолептичної оцінки, крім тургору та смаку. Найбільш істотною є різниця за показниками «зовнішній вигляд» та колір.

Як видно з рис.3, додавання в живильне середовище хлорофіліпту, сприяло стабілізації зеленого забарвлення. Деградація хлорофілів і каротиноїдів під час зберігання плодоовочевої продукції є закономірним процесом. Проте, сповільнення деградації пігментів є необхідним для забезпечення належного зовнішнього вигляду після зберігання. Застосування живильного середовища суттєво гальмує деградацію хлорофілів та каротиноїдів (табл.. 2, 3)

Таблиця 2

**Динаміка вмісту суми хлорофілів a і b під час зберігання зелені коріандру, мг/100г, $\bar{x}\pm s\bar{x}$, n=3**

| Термін зберігання, діб | Контроль | Варіант 1 | Варіант 2 | $НІР_{05}$ | Sx, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 114,12±13,00 | | | - | - |
| 7 | 75,50±0,81 | 97,86±2,10 | 103,97±0,57 | 3,72 | 1,02 |
| 14 | 73,12±2,15 | 89,59±0,47 | 99,18±2,13 | 7,48 | 2,18 |
| 21 | 70,37±0,99 | 83,68±1,39 | 87,70±1,42 | 5,81 | 1,84 |

Примітка. Результати подані з урахуванням втрат маси.

Таблиця 3

**Динаміка вмісту каротиноїдів a і b під час зберігання зелені коріандру, мг/100г, $\bar{x}\pm s\bar{x}$, n=3**

| Термін зберігання, діб | Контроль | Варіант 1 | Варіант 2 | $НІР_{05}$ | Sx, % |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | 21,50±1,92 | | | - | - |
| 7 | 19,23±0,23 | 23,42±1,03 | 25,09±0,95 | 3,90 | 4,40 |
| 14 | 16,88±1,04 | 23,11±0,43 | 24,39±0,49 | 0,11 | 0,98 |
| 21 | 15,34±0,42 | 18,73±0,43 | 22,96±0,43 | 1,92 | 2,58 |

Примітка. Результати подані з урахуванням втрат маси.

Після подовженого в 3,0…3,5 разів зберігання концентрація хлорофілів у зелені, що зберігалась у живильному середовищі з хлорофіліптом рівень хлорофілів вищий на 24,6 % у порівнянні з контролем, а концентрація каротиноїдів на 49,7 %.

**Висновки.**

На підставі проведених досліджень встановлено наступне:

- Застосування живильних середовищ на основі гідрогелю дозволяє подовжити термін зберігання зелені коріандру в 3,0…3,5 рази відносно контролю, залежно від варіанту.

- Використання живильних середовищ на основі гідрогелю дозволяє скоротити природні втрати маси в 2,2…2,5 рази.

- Після подовженого 3,5 рази терміну зберігання зелень коріандру з живильним середовищем на основі гідрогелю та хлорофіліпту мала таку ж дегустаційну оцінку як і контрольна.

- Застосування живильного середовища гальмує деградацію хлорофілів та каротиноїдів під час зберігання зелені коріандру. концентрація хлорофілів у зелені, що зберігалась у живильному середовищі з хлорофіліптом рівень хлорофілів вищий на 24,6 % у порівнянні з контролем, а концентрація каротиноїдів на 49,7 %

**Список використаних джерел**

1. *Loef M., Walach H.* Fruit, vegetables and prevention of cognitive decline or dementia: a systematic review of cohort studies. *The journal of nutrition, health & aging*. 2012. Vol. 16(7). P. 626-630.

2. *Sofi F., Abbate R., Gensini G. F., Casini A.* Accruing evidence on benefits of adherence to the Mediterranean diet on health: an updated systematic review and meta-analysis. *The American journal of clinical nutrition.* 2010. Vol. 92(5). P. 1189-1196.

3. *Liu R. H.* Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science*. 2013. Vol. 78(s1). P. A18-A25.

4. Critical review: vegetables and fruit in the prevention of chronic diseases / *H. Boeing* [et al.]. *European journal of nutrition*. 2012. Vol. 51(6). P. 637-663. DOI: 10.1007/s00394-012-0380-y.

5. Baby-leaf and multi-leaf of green and red lettuces are suitable raw materials for the fresh-cut industry / *A. Martínez-Sánchez* [et al.]. *Postharvest Biology and Technology*. 2012. Vol. 63(1). P. 1-10. DOI: 10.1016/j.postharvbio.2011.07.010.

6. *Salgueiro L., Martins A. P., Correia H.* Raw materials: the importance of quality and safety. A review. *Flavour and Fragrance Journal*. 2010. Vol. 25(5). P. 253-271.

7. *Edris A. E.* Pharmaceutical and therapeutic potentials of essential oils and their individual volatile constituents: a review // Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives. 2007. Vol. 21, № 4. P. 308-323. DOI: 10.1002/ptr.2072.

8. *Maffei M. E., Gertsch J., Appendino G.* Plant volatiles: production, function and pharmacology. *Natural product reports*. 2011. Vol. 28(8). P. 1359-1380.

9. *Laribi B., Kouki K., M'Hamdi M., Bettaieb T.* Coriander (Coriandrum sativum L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia.* 2015. Vol. 103. P. 9-26.

10. *Wong P. Y., Kitts D. D.* Studies on the dual antioxidant and antibacterial properties of parsley (Petroselinum crispum) and cilantro (Coriandrum sativum) extracts. *Food chemistry*. 2006. Vol. 7, № 3. P. 505-515. DOI:10.1016/j.foodchem.2005.05.031.

11. *Yildiz H.* Chemical composition, antimicrobial, and antioxidant activities of essential oil and ethanol extract of Coriandrum sativum L. leaves from Turkey. *International journal of food properties*. 2016. Vol. 19, № 7. P. 1593-1603. DOI: 10.1080/10942912.2015.1092161.

12. *Silva F., Domingues F. C.* Antimicrobial activity of coriander oil and its effectiveness as food preservative. *Critical reviews in food science and nutrition.* 2017. Vol. 57, № 1. P. 35-47. DOI: 10.1080/10408398.2013.847818.

13. Effect of cutting on ascorbic acid oxidation and recycling in fresh-cut baby spinach (Spinacia oleracea L.) leaves / *G. Cocetta* [et al.]. *Postharvest Biology and Technology*. 2014. Vol. 88. P. 8-16.

14. *Lester G. E., Makus D. J., Hodges D. M.* Relationship between fresh-packaged spinach leaves exposed to continuous light or dark and bioactive contents: effects of cultivar, leaf size, and storage duration. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2010. Vol. 58, № 5. P. 2980-2987. DOI: 10.1021/jf903596v.

15. *Доценко Н. В., Подорога В. І.* Дослідження шпинату різних термінів дозрівання для виробництва замороженого продукту. *Харчові технології, хлібопродукти і комбікорми:* збірник тез доп. Міжнар. наук.-практ. конф. Одеса, 2016. С. 126-128.

16. Carotenoids and flavonoids in organically grown spinach (Spinacia oleracea L) genotypes after deep frozen storage / *U. Kidmose* [et al.]. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2001. Vol. 81, № 9. P. 918-923.

17. *Fan X., Sokorai K. J.* Changes in volatile compounds of γ-irradiated fresh cilantro leaves during cold storage. *Journal of agricultural and food chemistry.* 2002. Vol. 50, № 26. P. 7622-7626.

18. *Loaiza J., Cantwell M.* Postharvest physiology and quality of cilantro (Coriandrum sativum L.). *HortScience*. 1997. Vol. 32, № 1. P. 104-107.

19. *Cantwell M. I., Reid M. S.* Postharvest physiology and handling of fresh culinary herbs. *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*. 1993. Vol. 1, № 3. P. 93-127. DOI: 10.1300/J044v01n03_09.

20. Postharvest changes of fresh cilantro / *P. Figueiredo* [et al.]. *IX Simpósio Ibérico de Maturação e Pós Colheita*. *Actas Portuguesas de Horticultura*. 2016. Vol. 28 (2ª). P. 284-289.

21. Package atmosphere affects postharvest biology and quality of fresh-cut cilantro leaves / *Y. Luo* [et al.]. *HortScience*. 2004. Vol. 39, № 3. P. 567-570.

22. *Прісс О. П., Кулик А. С.* Стабілізація зеленого забарвлення при зберіганні овочів. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. Вип. 4 (10). С. 53-58.

23. *Мусієнко М. М., Паршикова Т. В., Славний П. С.* Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин. Київ: Фітосоціоцентр. 2001. 200 с.

24. *Прісс О. П., Кулик А. С.* Якісні показники зелені петрушки під час зберігання з використанням гідрогелю та антиоксидантів. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. Харків, 2014. Т. 1 (19). С. 252-261.

25. *Fan X., Sokorai K. J. B.* Changes in volatile compounds of γ-irradiated fresh cilantro leaves during cold storage. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2002. Vol. 50, № 26. P. 7622-7626. DOI: 10.1021/jf020584j.

## ХРАНЕНИЕ ЗЕЛЕНИ КОРИАНДРА (CORIANDRUM SATIVUM L.) В ПИТАТЕЛЬНОЙ СРЕДЕ

**Присс О. П., Сухаренко Е. И, Коляденко В. В., Нестеров Ю. Ю.**

***Аннотация*** - зелень кориандра (Coriandrum sativum L.) одна из наиболее широко используемых свежих трав в мире. Свежесрезанные травы трудно хранить без потери качественных характеристик. При соблюдении температурно - влажностных режимов, потеря аромата, высокие естественные потери массы и пожелтение зелени приводят к сокращению срока хранения. Для удлинения сроков хранения и стабилизации содержания биологически активных веществ предложена технология хранения зелени кориандра в питательной среде на основе гидрогеля и хлорофилипта.

Установлено, что хранение зелени кориандра в питательной среде с гидрогелем и хлорофилиптом обеспечивает продление срока хранения, сокращает естественные потери массы, стабилизирует содержание пигментов.

***Ключевые слова*:** зелень кориандра, хранение, питательная среда, гидрогель, естественная убыль массы, пигменты.

# CILANTRO *(CORIANDRUM SATIVUM L.)* STORAGE N NUTRIENT MEDIUM

**O. Priss, O. Sukharenko, V. Kolyadenko, U. Nesterov**

**Summary**

Cilantro (Coriandrum sativum L.) is one of the most widely used fresh herbs in the world. Freshly cut greenery is difficult to store without losing its quality. In case of maintaining temperature and humidity regimes shelf life time decreases due to high natural loss of green mass, its yellowing and the loss of flavor. The method of cilantro storage in the hydrogel-chlorophyllipt-based nutrient medium was suggested in order to prolong spinach shelf life and to stabilize biologically active substances.

Fresh leaves of cilantro were collected in 50g bundles, tied with an elastic band, cooled to a temperature of about 5 °C and transported to the lab within 2 hours after harvesting. In the laboratory stems of greenery were put in polyethylene bags, which were pre-filled with nutrient medium 1% hydrogel (variant 1) or same 1% hydrogel with 0.25% chlorophyllipt acting as antioxidant (variant 2). The control variant was left without the nutrient environment. Bags with bundles of greenery were packed into boxes and stored under the ± 0, 5 ° C and relative humidity of air 95 ± 3%.

Basing on the conducted research it was established that usage of hydrogel-based nutrient medium allows to prolong the shelf life of cilantro 3.0... 3.5 fold (depending on the variant) comparing with the control group. The usage of hydrogel-based nutrient medium reduces natural loss of weight 2.2... 2.5 fold. After the 3.5 fold-prolonged cilantro storage period in the hydrogel-chlorophyllipt-based nutrient medium greenery had the same hedonic assessment as the control. Application of the nutrient medium slowers the chlorophyll and carotenoids degradation during the cilantro shelf life. In greenery stored in the chlorophyllipt-containing nutrient medium the level of chlorophylls concentration is higher by 24.6% compared to control, and the concentration of carotenoids by 49.7%.

**Key words**: cilantro, storage, nutrient medium, hidrogel, pigments, natural loss of mass.

**УДК 664.8.037.5:635.649 DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-58**

# ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ЭПИФИТНОЙ МИКРОФЛОРЫ ЗАМОРОЖЕННОЙ И ДЕФРОСТИРОВАННОЙ ОВОЩНОЙ ПРОДУКЦИИ

**Загорко Н. П., к. т. н., http://orcid.org/0000-0003-4828-5343**
**Кулик А. С., к. т. н., https://orcid.org/0000-0001-5403-3084**
**Гаприндашвили Н. А., к. с.-г. н., https://orcid.org/0000-0002-0671-6574**
**Кюрчева Л. Н., к. с.-г. н. http://orcid.org/0000-0002-8225-3399**
*Таврический государственный агротехнологический университет*
e-mail: zagorko.nadezhda@gmail.com

***Аннотация*** - работа посвящена исследованию эпифитной микрофлоры перца сладкого в процессе замораживания россыпью, в маринадной заливке, длительного хранения при низких отрицательных температурах и дефростированной продукции во время хранения.

Установлено, что количество плесневых грибков и бактерий уменьшается сразу после замораживания в 240 раз, а после дефростации к 12 часам хранения количество бактериальных микроорганизмов увеличилось в 4,7 раза, к 24 часам обсемененность плесневыми грибами увеличилась в 1,5 раза.

***Ключевые слова***: замораживание, перец сладкий, эпифитная микрофлора, маринад, дефростация, срок хранения.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Критерием оценки различных способов сохранения качества ценной плодоовощной продукции является изменение исходных показателей качества сырья, а также сроки, в течение которых данный способ позволяет сохранять продукцию с заданными свойствами. Этим требованиям в наибольшей степени отвечает низкотемпературное замораживание. Такое хранение позволяет существенно замедлять скорость протекания биохимических процессов в тканях растительной продукции, а также развитие микроорганизмов, вызывающих ее порчу.

Устойчивость микробной клетки к замораживанию зависит от вида и рода микроорганизмов, стадии их развития, скорости и температуры замораживания, состава среды обитания, а также от химического состава микроорганизмов, условий обработки продукции. Наиболее устойчивы к низким температурам – психрофиллы, для которых характерный максимум развития составляет около 30˚С, оптимум - в пределах 10 - 15˚С, минимум – 0 -

© Загорко Н. П., Кулик А.С., Гаприндашвили Н. А., Кюрчева Л. Н.

10˚С. У этой группы микроорганизмов ферменты имеют низкий уровень активности, в клеточных мембранах преобладают ненасыщенные жирные кислоты, вследствие чего они остаются полужидкими и при низких температурах не замерзают.

Исследования показывают, что замораживание не имеет стерилизующего эффекта. Наиболее высокая степень отмирания микроорганизмов наблюдается при температуре минус 4-6˚С, а их рост и размножение почти полностью прекращаются при минус 10-12˚С. В этих условиях плоды и овощи почти не подвергаются микробиологической порче, хотя полного уничтожения микроорганизмов не происходит [1].

Разные виды микроорганизмов не одинаково реагируют на физико-химические процессы во время охлаждения и замораживания. Бактерии и грибы способны образовывать споры, выживать в условиях низких температур и сохранять свои физиолого-биохимические свойства. В замороженных фруктах и овощах в процессе хранения микроорганизмы исчезают постепенно. Причем, сначала менее холодостойкие (кишечная палочка и другие). С наибольшей скоростью микроорганизмы отмирают в процессе замораживания. Особенно чувствительны к низким температурам вегетативные клетки плесневых грибов и дрожжей. В начале замораживания число бактериальных клеток резко уменьшается, затем гибель микроорганизмов замедляется, и, наконец, остаются устойчивые к низким температурам клетки, количество которых зависит от условий замораживания, индивидуальной устойчивости микроорганизмов.

На выживаемость микроорганизмов во время замораживания и низкотемпературного хранения влияют время хранения после сбора овощей и фруктов до замораживания, обработка перед замораживанием, скорость охлаждения, конечная температура охлаждения, продолжительность хранения, видовой и количественный состав микрофлоры, химический состав продукта, pH среды.

При неполном замораживании микробиальных клеток отмирание их может быть связано с негативным действием водной активности и повышением осмотического давления среды, повреждения клеток кристаллами льда, повышенным содержанием (концентраций) солей в клетке из-за ее обезвоживания. При этом нарушается структура цитоплазмы (изменяется ее вязкость, дисперсность белково-липидных частиц и т. д.), меняются свойства цитоплазматической мембраны, благодаря изменениям физико-

химических свойств липидов, которые входят в ее состав. Со временем все это приводит к необратимым изменениям в микробной клетке и ее гибели [2, 3].

Установлено, что уровень обсемененности размороженной продукции может в несколько раз превысить исходный уровень обсемененности плодов в замороженном состоянии. Этот показатель зависит от температуры и времени хранения. Поэтому рекомендуется употребить или использовать продукт сразу после дефростации.

Разработке оптимальных режимов замораживания плодов и овощей, позволяющих обеспечить высокое пищевое и микробиологическое качество, в максимальной степени сохранить их исходные показатели, посвящено большое количество работ отечественных и зарубежных авторов. Чрезвычайно важно обеспечить микробиологическую безопасность той группы замороженных продуктов, которые употребляются в пищу без дополнительной кулинарной обработки.

**Формулирование целей статьи.** Недостаточно изучена микробиологическая безопасность в процессе замораживания и низкотемпературного хранения, дефростации перца сладкого и продуктов его переработки, возделываемого в степной части юга Украины. Поэтому **целью** наших исследований было определение наличия эпифитной микрофлоры, как показателя качества замороженной продукции в динамике длительного низкотемпературного хранения при отрицательных температурах, замороженного россыпью, в маринадной заливке, а также дефростированного в воздушной среде.

**Изложение основного материала.** Замораживание оказывает ингибирующее действие на развитие микрофлоры, в чем и заключается один из факторов сохранения пищевых продуктов с помощью низких температур. В результате исследований установлено, что количественные и качественные показатели эпифитной микрофлоры на поверхности плодов перца в значительной степени зависят от предварительной подготовки продукции, срока и температуры ее хранения (табл.1).

Перед закладыванием на хранение поверхность плодов перца сорта Атлант была значительно заселена грибными микроорганизмами в количестве 1389,40, дрожжевыми клетками – 6643, бактериями – 62918 КОЕ/мм$^2$, но уже через десять дней хранения после замораживания количество грибных микроорганизмов уменьшилось до 20,2 КОЕ/мм$^2$ (табл.1). К середине хранения отмечалось снижение численности грибов – 0,2 КОЕ/мм$^2$, то есть – в

69 раз (рис. 1). В процессе хранения заселенность грибами плодов перца немного возросла и к концу хранения составила 48,2 КОЕ/мм$^2$.

Обсемененность дрожжевыми клетками свежего перца составляла 6643,89 и 4577,38 КОЕ/мм$^2$ для перца сорта Атлант и Солнышко, соответственно. После замораживания равнялась нулевой отметки и в процессе хранения не была выявлена.

Таблица 1

**Показатели динамики эпифитной микрофлоры плодов перца сладкого при замораживании россыпью и длительном хранении**

| Период хранения, сутки | Количество микроорганизмов, КОЕ/мм$^2$ | | |
|---|---|---|---|
| | грибы | дрожжи | бактерии |
| Перец красный Атлант | | | |
| 0 (свежий) | 1389,40 | 6643,89 | 62918,23 |
| 10 | 20,00 | - | 524,00 |
| 90 | 0,20 | - | 738,19 |
| 180 | 33,40 | - | 10054,60 |
| 270 | 48,22 | - | 14270,34 |
| Перец желтый Солнышко | | | |
| 0 (свежий) | 1154,36 | 4576,38 | 58267,17 |
| 10 | 15,30 | - | 2345,00 |
| 90 | 1,20 | - | 7768,96 |
| 180 | 20,40 | - | 8813,21 |
| 270 | 28,50 | - | 11273,15 |

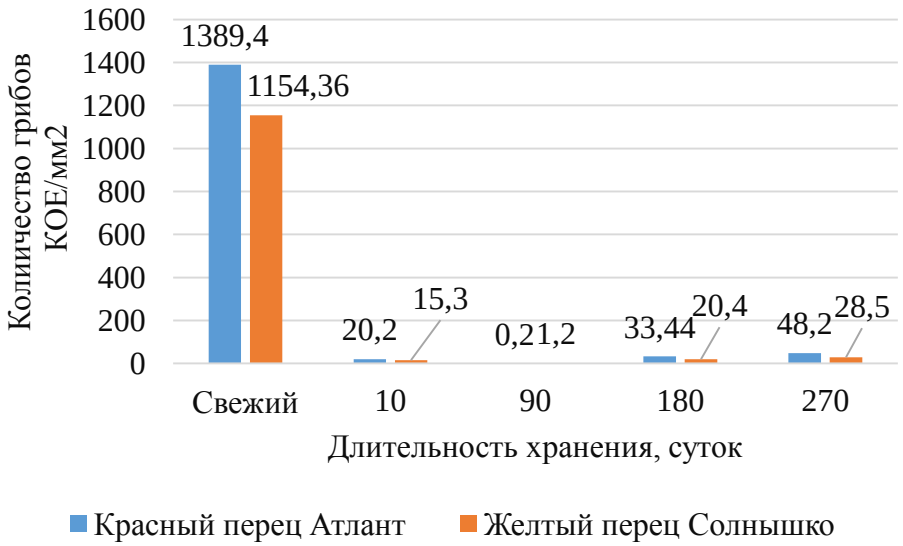



Рис. 1. Динамика заселенности плесневыми грибами перца сладкого, замороженного россыпью в воздушной среде

Количество бактериальных микроорганизмов свежих плодов красного перца составляло 62918,23 КОЕ/мм$^2$. Сразу же после замораживания отмечено резкое снижение до 524,00 КОЕ/мм$^2$ (рис. 2). После трех месяцев хранения произошла адаптация бактериальных микроорганизмов к низким температурам и количество их возросло по сравнению с количеством после процесса замораживания в 27 раз. Такая обсемененность их была в 7 раз ниже допустимых санитарных норм для замороженной продукции.

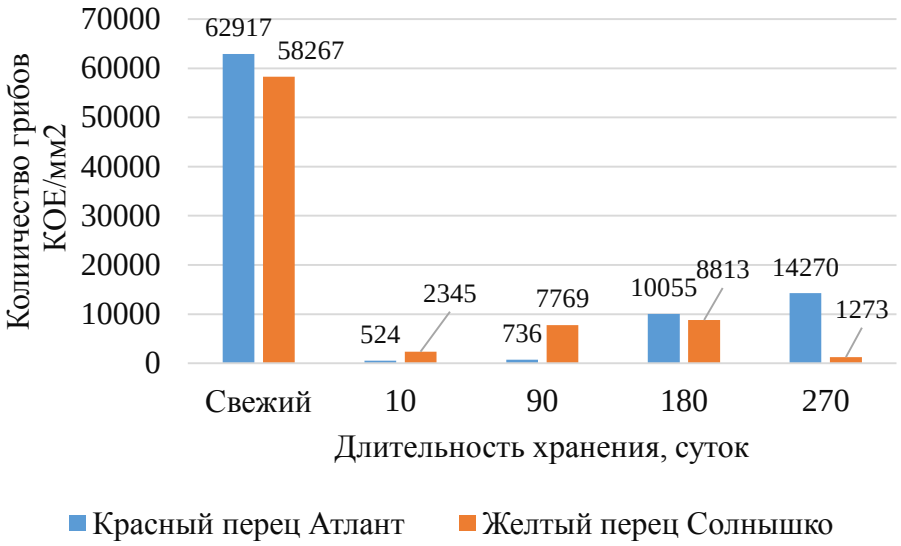



Рис. 2. Динамика заселенности бактериальными микроорганизмами перца сладкого, замороженного россыпью

Аналогичная тенденция наблюдалась в отношении сорта Солнышко с желтой окраской плодов. Заселенность микроорганизмами грибов поверхности плодов до замораживания составляла 1154 КОЕ/мм$^2$, сразу после замораживания – 15,30 КОЕ/мм$^2$, к концу хранения – 28,50 КОЕ/мм$^2$, что в 40 раз меньше по отношению к обсемененности свежих плодов.

Развитие бактериальной микрофлоры на плодах с желтой окраской отличалась меньшей начальной заселенностью и уменьшением количества к окончанию девятого месяца хранения в 5,1 раза.

Следует отметить, что заселенность бактериальной микрофлорой через девять месяцев хранения плодов с красной окраской была в 1,2 раза больше, чем плодов с желтой окраской. Обсемененность свежих плодов имела такое же соотношение и конечный результат зависит от предварительной обработки плодов перед закладыванием на низкотемпературное хранение. Особого

различия при хранении плодов перца разной окраски при изучении микрофлоры замороженных плодов не выявлено. Основная роль при этом принадлежит температуре и условиям замораживания.

Количественный и качественный состав микроорганизмов в замораживаемых продуктах зависит от величины pH, температуры, вида продуктов, предварительной обработки, срока хранения перед замораживанием и многих других факторов.

Из-за опасности размножения микроорганизмов подготовительные операции нужно проводить как можно быстрее. По данным авторов [4] от 1 до 75% микрофлоры переживают замораживание в бескислотных продуктах и 0,1-10% – в кислотных средах. Гнилостные и маслянокислые бактерии развиваются при pH до 5,6; кишечная палочка – до 4,4; молочнокислые и нитрифицирующие бактерии – около 4,0. При pH = 4 и ниже задерживается развитие бактерий Coli, Proteus putrificus, Bacillus subtilis. Споры многих бактерий не погибают при длительном пребывании в кислой среде, но они при этом и не развиваются [4]. Более длительному выживанию способствует нейтральная или слабощелочная среда. Присутствие сахара в растворе также способствует сохранению их стойкости при замораживании [4].

Патогенные микроорганизмы, вызывающие отравление, не развиваются в быстрозамороженных продуктах, т. к. они не относятся к психрофилам (минимальную температуру размножения 5°С).

Часть микроорганизмов инактивируется при замораживании, часть – в процессе хранения в замороженном виде. Уничтожение микрофлоры при низких температурах протекает медленно и в различной степени, в зависимости от состава, вида микроорганизмов. Граммотрицательные бактерии, к которым относятся и коли-формные микроорганизмы, более чувствительны к воздействию низких температур, чем граммположительные (энтерококки и др.) [5, 6].

Более эффективное снижение бактериальной обсемененности достигается при медленном замораживании и повышенных температурах хранения (минус 16-12°С).

В маринаде обсемененность, свежеприготовленного продукта была в 2,9 раза ниже по показателю заражения грибами, в 9,1 раза – бактериями, в сравнении с обсемененностью свежего перца. Наличия дрожжеподобных микроорганизмов не было выявлено на протяжение всего периода хранения, что свидетельствует об устойчивости плесневых грибов и некоторых видов бактерий к кислой среде, но для 90% микроорганизмов кислая среда является губительной.

После замораживания перца в маринаде количество микроорганизмов резко уменьшилось (в 240 раз) и до конца хранения оставалось, практически, на таком же уровне, проявляя слабую способность адаптации к низким температурам.

Бактерии же более выносливы к замораживанию. Тем более что диффузия криопретекторов в виде сахаров, соли и кислот, происходит как в клетки плодов перца сладкого, так и в клетки микроорганизмов, значительно смягчая разрушительное действие льда. Более того, способность бактерий к спорообразованию в неблагоприятных условиях, позволяет им перенести замораживание и хранение в кислой среде. Снижение их количества после замораживания происходит в 3,2 раза к количеству в свежеприготовленном маринаде. Но в период хранения они оказываются наиболее адаптированным видом микроорганизмов и уже к шести месяцам хранения их количество увеличивается в 1,3 раза в сравнении с периодом десятидневного хранения (после замораживания) (табл. 2.).

Таблица 2

**Динамика эпифитной микрофлоры в перце, замороженном в маринаде**

| Период хранения, сутки | Количество микроорганизмов, КОЕ/мм$^2$ | | |
|---|---|---|---|
| | плесневые грибы | дрожжи | бактерии |
| 0 (свежий) | 483 | - | 16918,23 |
| 10 | 2,1 | - | 5212,27 |
| 90 | 1,6 | - | 6213,27 |
| 180 | 3,0 | - | 6850,69 |
| 270 | 5,1 | - | 11257,56 |

К девяти месяцам хранения количество бактерий уменьшается в 1,5 раза к наличию их в свежезамороженных плодах (рис. 3.).

Низкое содержание микроорганизмов является одним из существенных факторов безупречности замороженного маринада с гигиенической точки зрения и микробиологические показатели вполне удовлетворяют требованиям санитарных норм и правил, безопасных для организма.

Во всех случаях замораживания сохраняется большое количество споровых зародышей, которые после оттаивания вызывают быструю порчу продуктов, такую же, как и до замораживания. Благоприятной питательной средой для всех видов микроорганизмов являются размороженные продукты.

Во время размораживания быстрозамороженных продуктов первыми начинают размножаться безопасные психрофильные микроорганизмы. Их жизнедеятельность начинается задолго до того, как температура поднимется настолько, чтобы начали развиваться патогенные микроорганизмы.

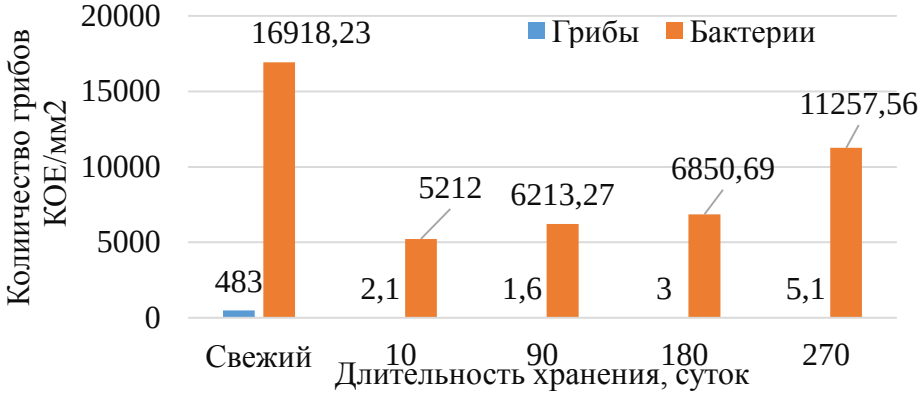



Рис. 3. Динамика обсемененности микроорганизмами перца сладкого, замороженного в маринаде

Даже через достаточно длительное время после оттаивания, замороженные без предварительной термообработки продукты, [7] не являются источником заражения патогенными микроорганизмами. Однако, размножаются безопасные для здоровья, но вызывающие порчу пищи, микроорганизмы. Продукты становятся непригодными к употреблению.

Целью наших исследований было установление предельных сроков хранения размороженного перца согласно ОСТ 111-7-82 по количеству эпифитной микрофлоры, развивающейся в динамике размораживания и хранения при температуре 20°С в воздушной среде и в перце, замороженном в маринаде.

Наличие МАФАнМ исследовали сразу после низкотемпературного хранения, через 2, 6, 12 и 24 часа хранения при 20°С (табл. 3).

Из сравнительной характеристики по видам микроорганизмов следует, что выживают наиболее криоустойчивые, при отеплении которых до температуры выше 0°С (0-20°С) начинается быстрое размножение. К ним относятся бактерии и плесневые грибы. Дрожжеподобных микроорганизмов в процессе дефростации выявлено не было, что связано с их низкой холодоустойчивостью.

Мезофильные микроорганизмы не размножаются в условиях холодильного хранения продуктов, температурный минимум их роста 5-10°С. Выше 0°С прекращают размножаться культурные дрожжи и отдельные виды плесеней (Aspergillus niger и др) [1].

Таблица 3

**Эпифитная микрофлора плодов перца, замороженного россыпью и в маринаде в процессе размораживания и кратковременного хранения, КОЕ/мм$^2$**

| Способ замораживания | Период хранения в замороженном виде, сутки | Вид микроорганизмов | Продолжительность хранения в размороженном состоянии, час. | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0 | 2 | 6 | 12 | 24 |
| Россыпью | 10 | Бактерии | 5240 | 10830 | 25411 | 29700 | 24663 |
| | | Грибы | 23 | 98 | 145 | 111 | 34 |
| | 90 | Бактерии | 7800 | 16100 | 17730 | 58970 | 49450 |
| | | Грибы | 2 | 4 | 21 | 13 | 7 |
| | 180 | Бактерии | 11204 | 31223 | 69580 | 80532 | 61319 |
| | | Грибы | 35 | 38 | 71 | 54 | 20 |
| | 270 | Бактерии | 16310 | 40039 | 80784 | 100407 | 65839 |
| | | Грибы | 51 | 104 | 168 | 130 | 85 |
| В маринаде | 10 | Бактерии | 5212 | 6920 | 10815 | 12380 | 7430 |
| | | Грибы | 3,10 | 3,80 | 7,5 | 10,4 | 8,3 |
| | 90 | Бактерии | 7800 | 9200 | 13500 | 15980 | 11300 |
| | | Грибы | 1,60 | 2,00 | 4,00 | 8,00 | 6,00 |
| | 180 | Бактерии | 12400 | 18308 | 25660 | 48400 | 23170 |
| | | Грибы | 3,80 | 5,00 | 8,00 | 12,00 | 9,00 |
| | 270 | Бактерии | 8900 | 13100 | 18600 | 21430 | 14123 |
| | | Грибы | 7,00 | 9,00 | 15,00 | 19,00 | 14,00 |

Наименее обсемененными в наших опытах оказались плоды перца сразу после размораживания [8]. Рост бактерий в этом варианте уже через два часа хранения увеличился в 20 раз и продолжался в течении 12 часов хранения. Что говорит о быстрой адаптации микроорганизмов к условиям окружающей среды. Однако, дальнейшее хранение при этих же условиях влечет за собой снижение их количества, но к 24 часам хранения их количество увеличивается в 4,7 раз к начальному.

Количество плесневых грибов имеет такую же тенденцию к росту, однако в очень незначительных количествах. Их количество в этом же варианте через 24 часа хранения увеличилось в 1,5 раза (рис. 4; 5).

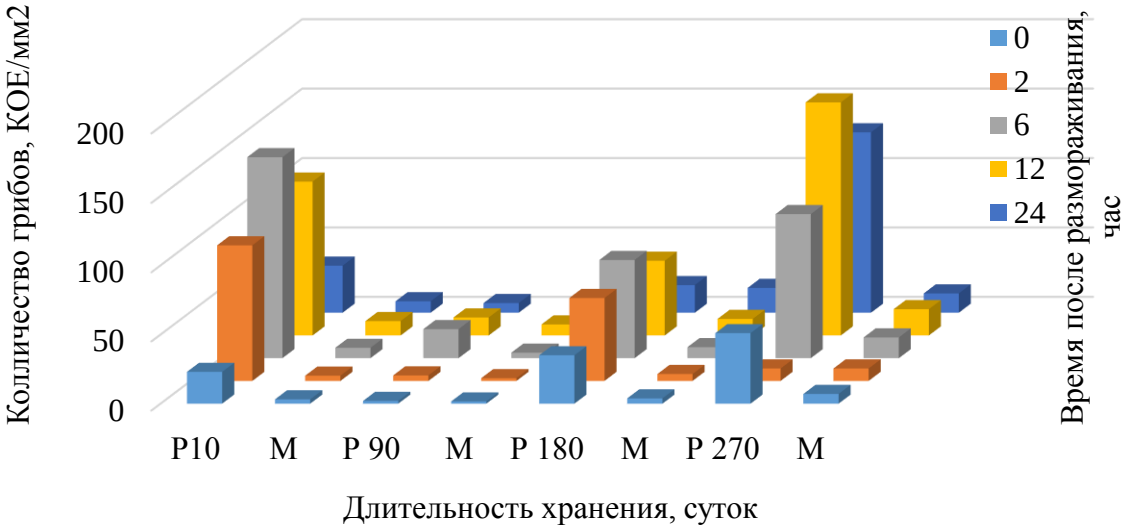



Рис. 4. Динамика размножения грибных микроорганизмов в период дефростации: Р – россыпью, М – в маринаде

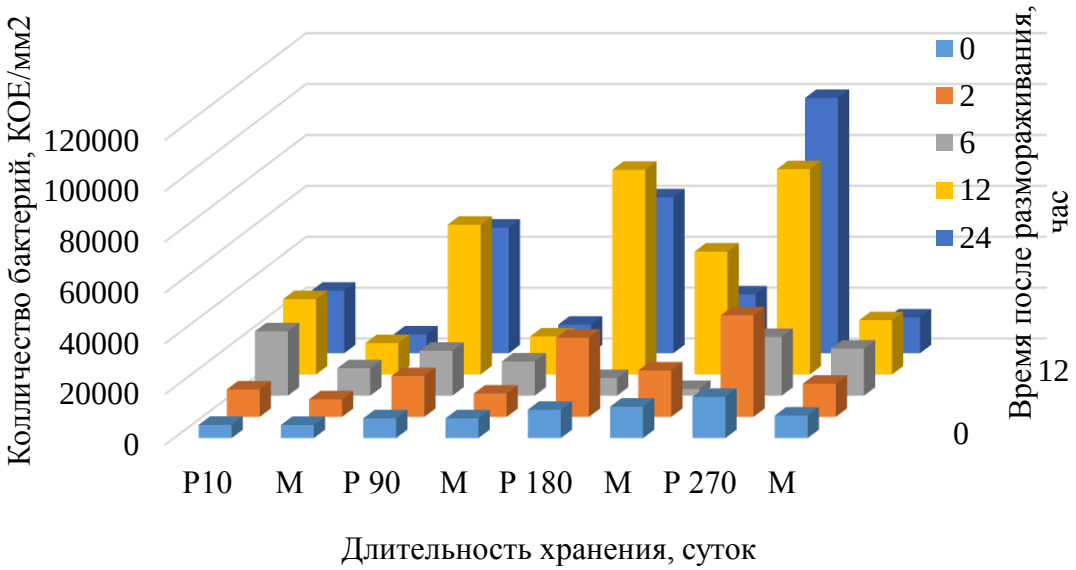



Рис. 5. Динамика размножения бактерий в период дефростации

Наиболее обсемененным был перец, замороженный россыпью после девяти месяцев хранения бактериальными и грибковыми микроорганизмами.

В перце, замороженном в маринаде, количество бактериальных микроорганизмов при дефростации и кратковременном хранении было значительно ниже, чем в первом варианте. Это объясняется наличием кислой среды, усиливающей губительное действие низких температур при замораживании на микроорганизмы.

Таким образом, при хранении перца при температуре 20°С в течении 24 часов в размороженном состоянии (при быстром

размножении микроорганизмов) их количество не превышает предельно допустимых норм для свежезамороженных овощей.

Однако, хранение при высоких температурах дефростированных плодов перца нежелательно, даже если в составе микроорганизмов не найдено токсикогенных или патогенных бактерий. Их не следует хранить более того срока, который необходим для оттаивания. Микробиологическая обсемененность через 24 часа хранения увеличивается, но остается значительно ниже предельно допустимого уровня санитарных норм.

**Выводы.** Динамика микрофлоры в перце, замороженном сухим способом и в маринаде имеет тенденцию к резкому уменьшению бактериальной и грибковой микрофлоры сразу после замораживания. К шести месяцам хранения остаются наиболее стойкие к низким температурам микроорганизмы, которые проявляют способность к дальнейшему развитию. Дрожжеподобные микроорганизмы погибают в процессе замораживания и не обнаруживаются на протяжении всего периода хранения.

В перце, замороженном в маринаде, губительное действие на микроорганизмы оказывает также кислая среда и их количество к 9 месяцам хранения становится в 2,5-3,0 раза меньше, чем в перце, замороженном россыпью.

Микробиологическая обсемененность размороженных плодов перца в воздушной среде не представляет опасности в течении 24 часов хранения. Однако, во избежание ухудшения качества как по микробиологическим, так и по биохимическим показателям не следует хранить замороженный перец больше того времени, которое необходимо для дефростации. Кроме того, перец, замороженный россыпью, можно подвергать кулинарной обработке без осуществления процесса размораживания во избежание потери его пищевой и биологической ценности.

**Список использованных источников**

1. *Brown M. H.* Microbiological aspects of frozen foods. *Food Freezing*. Springer, London, 1991. P. 15-25.

2. *Jay J. M., Loessner M. J., Golden D. A.* Modern food microbiology. Springer Science & Business Media, Inc., New York, 2008. URL: https://www.springer.com/gp/book/9780387231808 (Last accessed: 02.03.2019).

3. *Delgado A. E., Rubiolo A. C.* Microstructural changes in strawberry after freezing and thawing processes. *LWT-Food Science and Technology*. 2005. Vol. 38, № 2. P. 135-142.

4. *Бельтюкова К. И.* Методы исследований бактериальных возбудителей болезней растений. Киев: Наукова думка, 1968. 316 с.

5. *Nakamura S., Hatanaka A.* Green-leaf-derived C6-aroma compounds with potent antibacterial action that act on both gram-negative and gram-positive bacteria. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2002. Vol. 50, № 26. P. 7639-7644. DOI: 10.1021/jf025808c.

6. *Ray B., Bhunia A.* Fundamental food microbiology. CRC press. 663 p.

7. *Стручаев К. И.* Выбор режимов замораживания и хранения сельскохозяйственной продукции при отрицательных температурах. *Холодильная техника и технология*. 2004. № 4. С. 45-49.

8. *Модонкаева А. Э., Загорко Н. П.* Микробиологические аспекты низкотемпературного хранения сладкого перца в замороженном виде. *Виноградарство и виноделие*. 2004. № 4. С. 37- 39

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ЕПІФІТНОЇ МІКРОФЛОРИ ЗАМОРОЖЕНОЇ ТА ДЕФРОСТОВАНОЇ ОВОЧЕВОЇ ПРОДУКЦІЇ

**Загорко Н. П., Кулик А. С., Гапріндашвілі Н. А., Кюрчева Л. М.**

***Анотація*** - робота присвячена дослідженню епіфітної мікрофлори перцю солодкого у процесі заморожування розсипом у маринадній заливці, тривалого зберігання при низьких від'ємних температурах та дефростованої продукції підчас зберігання. Кількість цвілевих грибів та бактерій значно зменшилась одразу після заморожування та наприкінці третього місяця зберігання у перці, замороженій масою. Після адаптації до низьких температур кількість мікроміцетів та бактерій незначно зросла до кінця зберігання, але залишалася в 7 разів нижчою від допустимих санітарних норм для заморожених овочів. Дріжджі були менш стійкими до низьких температур і не були виявлені до кінця зберігання.

У маринаді забруднення свіжоприготованого продукту було забруднене грибками в 2,9 рази і в 9,1 рази менше, ніж у свіжих бактерій. Після заморожування кількість мікроорганізмів зменшилася в 240 разів.

Аналіз розвитку бактеріальних мікроорганізмів під час зберігання в талому стані свідчить про те, що їх кількість збільшилася в 4,7 рази від базової до 12 годин зберігання. Кількість грибків цвілі після 24 годин зберігання в талому стані зросла в 1,5 рази.

У перці, замороженому в маринаді, кисле середовище також згубно впливає на мікроорганізми і за 9 місяців зберігання їх кількість стає в 2,5-3,0 рази меншою, ніж у замороженому перці. Мікробіологічне висівання розморожених перців у повітря не є небезпечним протягом 24 годин зберігання. Однак, щоб уникнути погіршення як мікробіологічних, так і біохімічних показників, заморожені перці не повинні зберігатися більше часу, необхідного для розморожування. Крім того, перець, заморожений оптом, може бути підданий кулінарній обробці без здійснення процесу розморожування, щоб уникнути втрати його харчової та біологічної цінності.

***Ключові слова:*** заморожування, перець солодкий, епіфітна мікрофлора, маринад, дефростація, термін зберігання.

## RESEARCH OF DYNAMICS EPIFITNOY MICROFLORA FROZEN AND DEFROSTED OF VEGETABLE PRODUCTS

**N. Zagorko, A. Kulyk, N. Gaprindashvili, L. Kyurcheva**

***Summary***

The work is devoted to the study of the epiphytic micro-flora of sweet pepper in the process of freezing in bulk, in marinade pouring, long-term storage at low negative temperatures, as well as defrosted products during storage. Microbiological safety in the process of freezing and low-temperature storage, defrosting of sweet pepper and its products, cultivated in the steppe part of southern Ukraine, has not been sufficiently studied. Therefore, the purpose of our research was to determine the presence of epiphytic microflora, as an indicator of the quality of frozen products in the dynamics of long-term low-temperature storage at negative temperatures, frozen in bulk, in marinade pouring, and defrosted in the air. The number of mold fungi and bacteria significantly decreased immediately after freezing and at the end of the third month of storage in peppers, frozen in bulk. After adaptation to low temperatures, the amount of micromycetes and bacteria increased slightly until the end of storage, but remained 7 times lower than the permissible sanitary standards for frozen vegetables. Yeast was less resistant to low temperatures and was not detected until the end of storage.

In the marinade, the contamination of the freshly prepared product was 2.9 times lower in terms of the contamination by fungi and 9.1 times lower than in fresh bacteria. After freezing, the number of microorganisms decreased 240 times.

Analysis of the development of bacterial microorganisms during storage in a thawed state suggests that their number increased 4.7 times from baseline to 12 hours of storage. The number of mold fungi after 24 hours of storage in a thawed state increased 1.5 times.

The dynamics of microflora in dry-frozen and pickled pepper tends to drastically decrease bacterial and fungal microflora immediately after freezing. By six months of storage, the most resistant to low temperatures microorganisms remain, which are capable of further development. Yeast-like microorganisms die during the freezing process and are not detected during the entire storage period.

In the pepper frozen in the marinade, the acidic environment also has a detrimental effect on microorganisms and by the 9 months of storage their amount becomes 2.5-3.0 times less than in frozen pepper.

Microbiological seeding of thawed peppers in air is not dangerous during 24 hours storage. However, in order to avoid deterioration in both microbiological and biochemical parameters, frozen peppers should not be stored more than the time required for defrosting. In addition, pepper, frozen in bulk, can be subjected to culinary processing without the implementation of the defrosting process in order to avoid loss of its nutritional and biological value.

**Keywords:** freezing, sweet pepper, epiphytic microflora, marinade, defrosting, shelf life.

**УДК 664.68** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-59**

# РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ І ТЕХНОЛОГІЇ КОНДИТЕРСЬКИХ ПРЯНИКОВИХ ВИРОБІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ХАРЧОВОЇ ДОБАВКИ “МАГНЕТОФУД”

**Цихановська І. В., к. х. н.** **https://orcid.org/0000-0002-9713-9257**
*Українська інженерно-педагогічна академія*
e-mail: cikhanovskaja@gmail.com

***Анотація*** **–** Досліджено вплив харчової добавки “Магнетофуд” на функціонально-технологічні властивості дослідних зразків пряникового тіста і виготовлених з нього пряників заварних за органолептичними, фізико-хімічними, структурно-механічними показниками. Визначена величина втрат при термообробці зразків тістових напівфабрикатів та вихід готових виробів. Визначено раціональний вміст харчової добавки “Магнетофуд”– 0,15 % від маси рецептурного складу. Розроблено рецептура та технологічна схема пряників заварних “Харківських” з додаванням “Магнетофуд”.

***Ключові слова:*** “Магнетофуд”, харчова добавка, пряникі заварні, пряникове тісто, показники якості, зберігання.

**Постановка проблеми.** Кондитерська промисловість – це швидко розвиваюча галузь, яка вимагає великої кількості ресурсів, в тому числі і різноманітності сировини, для можливості розширення асортименту продукції з урахуванням побажань споживача. Дослідження нових видів сировини та харчових добавок-поліпшувачів, які надають нові функціонально-технологічні властивості кондитерським виробам; мають хімічний склад, структурні компоненти якого будуть активізувати технологічний процес виробництва і економити сировину, а також покращувати харчову цінність, якісні показники та терміни зберігання готової продукції є актуальною проблемою сьогодні [1, 2].

У зв’язку з цим представляється інтерес пошука нових технологічних рішень і технологічних прийомів для підвищення споживчих властивостей борошняної кондитерської продукції. В останні роки в технологіях борошняних кондитерських виробів відзначається тенденція розробки і впровадження виробництва кондитерської продукції з використанням різноманітних харчових добавок – поліпшувачів. Все це дозволяє створити цілий ряд нових вдосконалених технологій і продуктів, значно розширити їх асортимент, подовжити терміни зберігання [2, 3].

Тому актуальним є введення в рецептурний склад харчової

© Цихановська І. В.

добавки “Магнетофуд” комплексної дії для формування нових функціонально-технологічних властивостей борошняних кондитерських виробів, зокрема пряників заварних з суміші борошна пшеничного та житнього. “Магнетофуд” – ультратонкий порошок з розміром частинок 80 нм та з великою питомою поверхнею, високою активністю та специфічними властивостями: відновними, антиоксидантними, бактеріостатичними, сорбційними, комплексоутворюючими, емульгуючими, вологоутримуючими, жироутримуючими, вологозв’язуючими. Він є додатковим джерелом легкозасвоюваного заліза (II) [4–6].

**Аналіз останніх досліджень.** Аналіз літературних даних показує, що в практиці борошняного кондитерського виробництва для розширення асортименту та поліпшення якості борошняних кондитерських виробів, регулювання параметрів технологічних процесів використовують різноманітні харчові добавки.

Для поліпшення технологічних показників і подовження термінів збереження свіжості борошняних кондитерських виробів використовуються спеціальні групи харчових добавок: вітамінно-мінеральні премікси, вітаміни – антиоксиданти, харчові волокна, мікронутрієнтні добавки захисної дії [1,7]. Недоліком цих добавок є вузька спрямованість дії.

У виробництві борошняних кондитерських виробів широко використовуються різноманітні біодобавки з рослинної сировини (женьшень, топінамбур, обліпиха та ін.). Вони покращують споживчі властивості готових виробів та сприяють збільшенню вологоутримуючої здатності борошняних кондитерських мас [2, 8, 9]. Недоліками цих добавок є низька функціональність щодо текстури і фізико-хімічних властивостей готових виробів.

Наразі широке поширення отримали різноманітні полісахаридні добавки, одержані з натуральних інгредієнтів: цитрусові волокна; гідроколоїди рослинного походження, ефіри целюлози [3, 10 – 12]. Цитрусові волокна – джерело корисної для здоров'я клітковини. Зміст харчових волокон в них становить від 88 % до 93 %, в тому числі розчинних – близько 20 % [3,10, 11]. Завдяки таким добавкам стало можливим створення низькокалорійних продуктів, що зберігають структурно-механічні та органолептичні характеристики традиційних аналогів. Однак, вони не збезпечують достатню пористість печива. Гідроколоїди: бананові і яблучні порошки; обліпиховий шрот; гуарова і ксантанова камеді [3, 10 – 12]; полідекстроза – полісахарид, що складається з полімерів глюкози з низькою молекулярною вагою [3, 10]. Гідроколоїди використовують для надання бажаної в’язкості або консистенції, а також для стабілізації харчових дисперсних систем (емульсій, суспензій). Багато гідроколоідів, наприклад, гуарова і

ксантанова камеді, відносяться до розчинних харчових волокон. І є функціонально-технологічними інгредієнтами, які сприяють покращенню водоутримуючої здатності й показників якості. Але їх вплив на технологічні властивості тістових кондитерських мас і готових виробів недостатній.

З метою покращення реологічних властивостей борошняних кондитерських мас та підвищення водопоглинаючої здатності борошна використовують натуральні порошкоподібні компоненти, отримані з молочних і яєчних продуктів [3, 9, 13]. Їх недолік – відсутність поліфунціональності.

Останним часом в виробництвах борошняних кондитерських виробів знайшли застосування різноманітні харчові добавки, отримані з продуктів вторинної переробки (шкіри, копита, пір'я [14], субпродукти [15], насіння, висівки [16], сироватка [17] та ін.). Однак, ці біодобавки характеризуються вузькою спрямованістю та не проявляють комплексну дію.

З метою поліпшення водоутримуючої здатності борошняних кондитерських мас та готових виробів використовуються біодобавки на основі пшениці [18]. Однак вихід і структурно-механічні показники готових виробів не покращуються.

Для підвищення водопоглинаючої здатності борошна та водоутримуючої здатності борошняних кондитерських мас у кондитерських виробництвах запропоновані також біодобавки різного походження: соя, нут [19]; ензими, мікроводорості та ін. [20]. Однак, ці добавки мають недостатню функціональність щодо пористості і формостійкості готових виробів.

В кондитерському виробництві в останні роки для підвищення водоутримуючої здатності борошняних кондитерських мас використають сполуки рослинного походження, що містять феноли [21]. Їх недоліки – недостатній вихід і термін зберігання готових виробів.

Аналіз інформаційних джерел [2 – 21] показує відсутність даних про використання нанопорошкових інгредієнтів у технологіях борошняних кондитерських виробів. Для поліпшення якості, подовження термінів зберігання, створення нових функціонально-технологічних властивостей борошняних кондитерських виробів може бути запропонована харчова добавка "Магнетофуд". У харчових системах "Магнетофуд" проявляє водоутримуючу, жироутримуючу, жироемульгуючу та стабілізуючу здатність [4–6, 22, 23].

Весь цей комплекс отриманих даних дозволяє рекомендувати "Магнетофуд" в якості харчової добавки комплексної дії в борошняні кондитерські вироби.

**Метою роботи** є розробка рецептури і технології кондитерських пряникових виробів з використанням харчової добавки “Магнетофуд”.

Для досягнення мети були поставлені наступні завдання:

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на фізико-хімічні характеристики пряникового тіста;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на структурно-механічні характеристики пряникового тіста;

– дослідити вплив харчової добавки “Магнетофуд” на органолептичні показники готових пряникових виробів;

– встановити раціональну кількість харчової добавки “Магнетофуд” та розробити рецептуру пряників заварних з суміші борошна пшеничного та житнього з внесенням добавки “Магнетофуд”;

– розробити технологію пряників заварних з суміші борошна пшеничного та житнього з використанням харчової добавки “Магнетофуд”;

– дослідити показники якості пряників “Харківських”, отриманих за вдосконаленою технологією з використанням харчової добавки “Магнетофуд”;

– дослідити здатність до черствіння та сорбційні характеристики пряників “Харківських”, отриманих за вдосконаленою технологією з використанням харчової добавки “Магнетофуд”.

**Основна частина.** В якості базової для розробки нового виду пряників обрана рецептура пряників заварних “Ленінградських” з какао-порошком [24] – табл.1.

Масова частка внесення харчової добавки “Магнетофуд” в пряники обмежена її впливом на органолептичні властивості, зокрема, на колір. У зв’язку з цим взята рецептура виробів з какао-порошком для його часткової заміни на дану добавку.

Для розробки системи з необхідними показниками якості були обрані масові частки добавки “Магнетофуд” – 0,10 % (*зразок 2*), 0,15 % (*зразок 3*) і 0,20 % (*зразок 4*) від маси рецептурної суміші. У *зразку 1-контролі* (пряникі “Ленінградські”) вміст добавки “Магнетофуд” складає 0 %.

З метою обгрунтування раціональної масової частки харчової добавки “Магнетофуд” в пряниках були оцінені фізико-хімічні та реологічні властивості пряникового тіста (табл.2) та органолептичні показники, виготовлених з нього пряників (рис. 1) загально прийнятими методами [25–30].

Таблиця 1

**Зведена рецептура пряників “Ленінградських”**

| Сировина | Масова частка сухих речовин, % | Витрати сировини на н/ф на 1 т готової продукції (без матеріалів для упаковки), кг | |
|---|---|---|---|
| | | В натурі | У сухих речовинах |
| Борошно пшеничне 1 ґат. | 85,50 | 413,36 | 353,42 |
| Борошно житнє сіяне | 85,50 | 95,71 | 81,83 |
| Цукор-пісок | 99,85 | 230,89 | 230,54 |
| Мед натуральний | 78,00 | 221,95 | 173,12 |
| Маргарин | 84,00 | 56,00 | 47,04 |
| Меланж | 27,00 | 11,70 | 3,16 |
| Сода харчова | 85,00 | 1,54 | 0,77 |
| Вуглекислий амоній | – | 7,28 | – |
| Какао-порошок | 95,00 | 11,19 | 10,63 |
| Кориця | 100,00 | 3,05 | 3,05 |
| Паленка | 78,00 | 10,18 | 7,94 |
| Всього | – | 1068,97 | 917,62 |
| Вихід | 88,0 | 1000,00 | 880,00 |
| Вологість (12,0 ± 2,5) % | | | |

Таблиця 2

**Фізико-хімічні та структурно-механічні властивості пряникового тіста з різними масовими частками харчової добавки “Магнетофуд”** *(n = 5, p ≤0,05)*

| Найменування показника | Дослідні зразки тістових мас | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Зразок 1 | Зразок 2 | Зразок 3 | Зразок 4 |
| Масова частка вологі, % | 24,3±0,2 | 25,5±0,2 | 25,7±0,2 | 25,6±0,2 |
| Густина, г/см$^3$ | 1,29±0,1 | 1,23±0,1 | 1,20±0,1 | 1,21±0,1 |
| Пластичність (граничне напруження зсуву), Па | 505±2 | 525±2 | 529±2 | 530±2 |
| Адгезійна міцність (сталь), кПа | 2,7±0,1 | 2,3±0,1 | 2,0±0,1 | 2,1±0,1 |
| Пластична в’язкість, кПа·с (при $\gamma$=0,02 с$^{-1}$) | 7,5±0,4 | 9,4±0,4 | 9,9±0,4 | 9,8±0,4 |
| Час утворення тіста, ·60с | 6,5±0,2 | 4,9±0,2 | 4,6±0,2 | 4,5±0,2 |

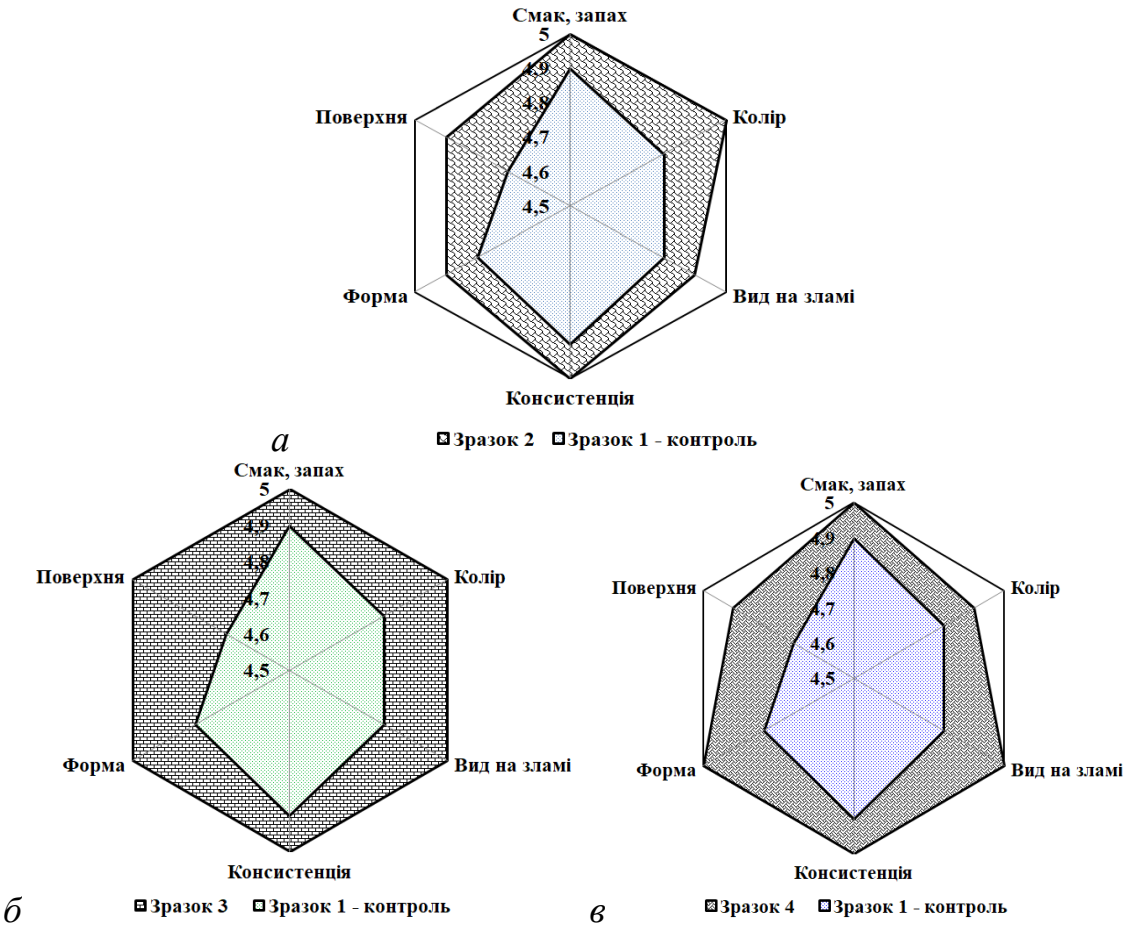



Рис. 1. Рівень якості органолептичних властивостей дослідних зразків пряників заварних в порівнянні з контролем з різною масовою часткою харчової добавки “Магнетофуд”: *а* – 0,1 %; *б* – 0,15 %; *в* – 0,2 % до маси рецептурної суміші

Аналіз експериментальних даних табл. 2 показує, що при введенні добавки “Магнетофуд” у дослідні зразки заварних пряників у кількості 0,10%, 0,15 %, 0,20 % до маси рецептурної суміші покращуються функціонально-технологічні характеристики пряникового тіста. Що пояснюється здатністю добавки “Магнетофуд” до утворення сольвато- і ліпідокомплексів та більш міцному утриманню вологи і жиру в структурі продукту. Встановлено, що у порівнянні з контролем зменшується час утворення тіста на (1,8±0,2) хвилини. Це пов’язано зі структуроутворюючої та стабілізуючої дією харчової добавки “Магнетофуд”.

Доведено, введення в рецептурний склад добавки “Магнетофуд” сприяє підвищенню вологості на (1,3±0,2) % та зменшенню густини тіста на (0,7±0,1) г/см$^3$ у порівнянні з контролем (зразок 1). Це пов’язано з вологозв’язуючої та вологоутримуючої здатністю харчової добавки “Магнетофуд”.

Показано, що використання добавки “Магнетофуд” сприяє підвищенню: граничного напруження зсуву – на (23±2) Па; пластичної в’язкості – на (2,2±0,4) кПа·с у порівнянні з контролем. Тобто, введення добавки “Магнетофуд” призводить до позитивних змін реологічних властивостей тіста, що виражається в зменшенні величини опору дослідних зразків тіста деформуючому навантаженню, тобто збільшенню пластичності пропорційно масової частці добавки “Магнетофуд”. Це по’язано зі водозв’язуючою і стабілізуючою дією добавки “Магнетофуд”, що сприяє зв’язуванню вільної вологи і отриманню структуровано-сольватованої системи. Експериментально доведено, що зі збільшенням масової частки добавки “Магнетофуд” в рецептурі заварних пряників знижується адгезійна міцність в порівнянні з контролем на (14,8±0,1) % при внесення 0,1 % “Магнетофуд”, на (25,9±0,1) % – 0,15 % “Магнетофуд” і на (22,2±0,1) % – 0,2 % “Магнетофуд” до поверхні зі сталі. Це пояснюється зниженням вмісту вільної вологи в тісті при внесенні добавки “Магнетофуд” і швидкості дифузії молекул в мікропори контактуючої поверхні за рахунок підвищення водоутримуючої здатності тіста .

З даних табл. 2 слід, що кращі характеристики пряникового тіста отримані при масовій частці добавки “Магнетофуд” 0,15 % до маси рецептурної суміші.

Результати органолептичної оцінки якості дослідних зразків готових пряників показані на рис.1.

Як видно з рис.1, кращими за органолептичними показниками якості визначені вироби з 0,15% харчової добавки “Магнетофуд” до маси рецептурної суміші.

Використання більш високих масових часток харчової добавки істотно не відбивається на показниках якості, а також призводить до небажаного затемнення виробів на зламі.

За результатами досліджень запропоновано зведена рецептура пряників з добавкою “Магнетофуд” – табл. 3.

Також, розроблена функціональна схема технологічного процесу виробництва пряників “Харківських” – рис. 2. Згідно з якою, на стадії підготовки сировини і напівфабрикатів до виробництва, борошно пшеничне попередньо змішується з харчової добавкою “Магнетофуд”.

Таблиця 3

**Зведена рецептура пряників заварних з харчової добавкою “Магнетофуд”**

| Сировина | Масова частка сухих речовин, % | Витрати сировини на н/ф на 1 т готової продукції (без матеріалів для упаковки), кг | |
|---|---|---|---|
| | | В натурі | У сухих речовинах |
| Борошно пшеничне 1 ґат. | 85,50 | 412,36 | 352,42 |
| Борошно житнє сіяне | 85,50 | 95,71 | 81,83 |
| Цукор-пісок | 99,85 | 229,29 | 228,95 |
| Мед натуральний | 78,00 | 221,95 | 173,12 |
| Маргарин | 84,00 | 56,00 | 47,04 |
| Меланж | 27,00 | 11,70 | 3,16 |
| Сода харчова | 85,00 | 1,54 | 0,77 |
| Вуглекислий амоній | – | 7,28 | – |
| Какао-порошок | 95,00 | 9,99 | 9,45 |
| Кориця | 100,00 | 3,05 | 3,05 |
| Паленка | 78,00 | 10,18 | 7,94 |
| Харчова добавка “Магнетофуд” | 99,95 | 1,6 | 1,59 |
| Всього | – | 1068,97 | 917,62 |
| Вихід | 88,0 | 1000,00 | 880,00 |
| Вологість (12,0 ± 2,5) % | | | |

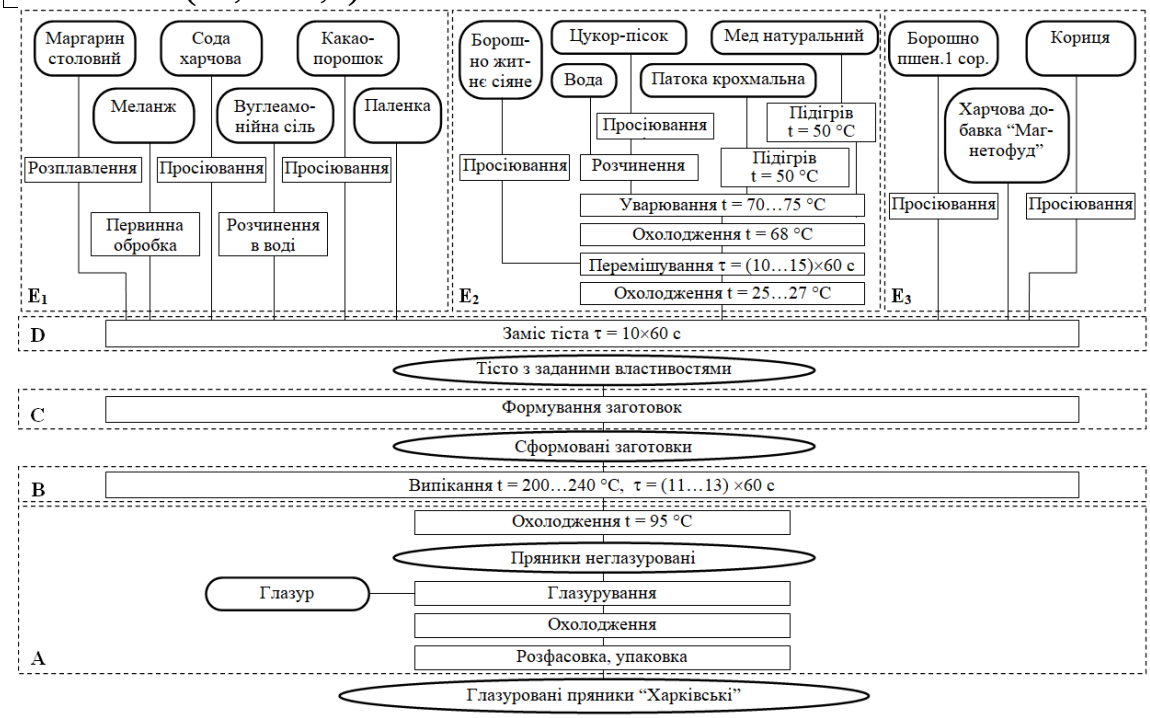



Рис. 2. Технологічна схема виготовлення пряників “Харківських”: A, B, C, D, $E_1$, $E_2$, $E_3$ – підсистеми технологічної схеми виробництва пряників “Харківських”

Процес приготування рецептурної суміші для заварних пряників здійснюється наступним чином. Житнє борошно заварюється, отримана заварка охолоджується. Далі здійснюється заміс тіста з заварки, підготовлених сипучих компонентів, жирів, розпушувачів.

Готове тісто формують за допомогою металевих форм.

Випічка виробів здійснюється протягом (11…13)·60 с при температурі (200…240) °С. Після випічки пряники охолоджують, глазурують і зберігають протягом 30 діб.

Як видно зі схеми (рис. 2), відмінною особливістю технологічного процесу приготування пряників "Харківських" є змішування харчової добавки "Магнетофуд" з борошном на стадії замісу тіста.

Вивчалися показники якості пряників "Харківських", отриманих за вдосконаленою технологією. У таблиці 4 наведені якісні характеристики дослідних зразків пряників "Харківських" (з раціональним вмістом добавки "Магнетофуд"– 0,15 % до маси рецептурної суміші) у порівнянні з контролем – пряниками "Ленінградськими".

Аналіз даних таблиці 4 показує, що пряники "Харківські" мають кращі показники якості в порівнянні з пряниками "Ленінградськими", виготовленими за традиційною технологією: збільшується вихід на (4,3±0,5) %, вологість на (2, 4±0,1) %, намочуваність – на (20±2) %, разжевиваємість – на (0,5±0,2) бали; зменшується густина на (0,11±0,02) г/см$^3$; крошливість – на (1,0±0,2); втрати при термообробці – на (1,8±0,2) %; лужність – на (0,4±0,1).

Таблиця 4

**Показники якості заварних пряників з різними масовими частками харчової добавки "Магнетофуд"**

*(n = 5, p ≤0,05)*

| Найменування показника | Дослідні зразки заварних пряників | |
|---|---|---|
| | Пряники "Ленінградські" | Пряники "Харківські" з 0,15 % "Магнетофуд" |
| Масова частка вологі, % | 9,8±0,1 | 12,2±0,1 |
| Лужність, % | 2,0±0,1 | 1,6±0,1 |
| Густина, г/см$^3$ | 0,52±0,02 | 0,41±0,02 |
| Намочуваність, % | 195±2 | 215±2 |
| Крошливість, % | 1,6±0,2 | 0,6±0,2 |
| Разжевиваємість, бали | 4,5±0,2 | 5,0±0,2 |
| Вихід, % | 84,4±0,5 | 88,7±0,5 |
| Втрати при термообробці,% | 9,9±0,2 | 8,1±0,2 |

Це пояснюється здатністю наночастинок “Магнетофуд” до структуроутворення, жиро- і водозв’язування, жиро і водоутримання, а також до перерозподілу вологи в тістовій системі – в результаті покращується текстура та разжевиваємість; збільшується пористість, намочуваність і вихід готових виробів.

Здатність до черствіння пряників “Харківських” в процесі зберігання досліджена тензометричним методом. Вироби зберігали протягом регламентованих термінів – 30 діб при температурі (18 ± 2) ºС. Сорбційні характеристики пряників “Харківських” і “Ленінградських”, приготованих за традиційною рецептурою, наведені на рис. 3.

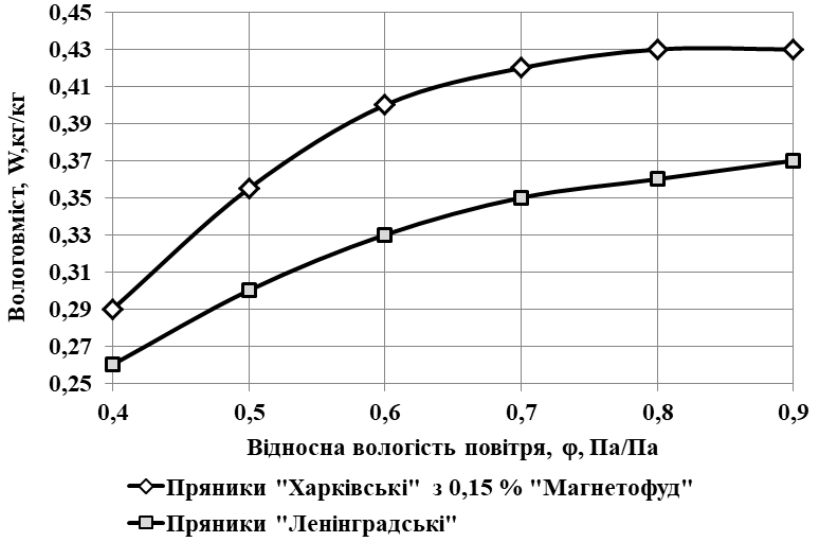



Рис. 3. Ізотерми сорбції пряників “Ленінградських” і “Харківських” при температурі (20±2) °С

Аналіз ізотерм сорбції пряників “Харківських” і “Ленінградських” (рис. 3) показує, що введення добавки “Магнетофуд” сприяє утриманню в продукті зв’язаної води, тобто при при φ=0,7 (70% відносної вологості повітря в приміщенні) кількість зв’язаної води в пряниках “Харківських” становить 42 %, а в пряниках “Ленінградських” – 35 %, що сприяє подовженню терміну зберігання свіжості виробів з харчовою добавкою “Магнетофуд”.

***Висновки.*** Отримані результати підтверджують гіпотезу удосконалення технології кондитерських пряникових виробів шляхом введення в рецептурний склад харчової добавки “Магнетофуд”:

– у дослідних зразків введення в рецептурний склад добавки “Магнетофуд” в кількості 0,10%; 0,15 %; 0,20 % до маси рецептурної суміші сприяє збільшенню вологості пряникового тіста на (1,3±0,2) %; зменшенню густини тіста на (0,7±0,1) г/см$^3$; підвищенню у тісті: граничного напруження зсуву – на (23±2) Па та пластичної в’язкості –

на (2,2±0,4) кПа·с у порівнянні з контролем;

– при введенні харчової добавки “Магнетофуд” знижується адгезійна міцність пряникового тіста в порівнянні з контролем на (14,8±0,1) % при внесення 0,1 % “Магнетофуд”, на (25,9±0,1) % – 0,15 % “Магнетофуд” і на (22,2±0,1) % – 0,2 % “Магнетофуд” до поверхні зі сталі;

– показано, що кращими за органолептичними показниками якості визначені пряникові вироби з 0,15% харчової добавки “Магнетофуд” до маси рецептурної суміші;

– встановлено раціональний вміст добавки “Магнетофуд” – 0,15% до маси сировини. Запропоновано зведена рецептура пряників “Харківських” з добавкою “Магнетофуд”;

– розроблена технологія виробництва заварних пряників з суміші борошна пшеничного та житнього при використанні харчової добавки “Магнетофуд”;

– встановлено, що пряники “Харківські” з використанням добавки “Магнетофуд” мають кращі показники якості в порівнянні з пряниками “Ленінградськими”, виготовленими за традиційною технологією: збільшується вихід на (4,3±0,5) %, вологість на (2, 4±0,1) %, намочуваність – на (20±2) %, разжевиваємість – на (0,5±0,2) бали; зменшується густина на (0,11±0,02) г/см$^3$; крошливість – на (1,0±0,2); втрати при термообробці – на (1,8±0,2) %; лужність – на (0,4±0,1);

– дослідженням сорбційних характеристик пряників “Харківських” доведено, що введення добавки “Магнетофуд” сприяє утриманню вологи в продукті, збільшуючи кількість зв’язаної води на (7,0±1) % у порівнянні з контролем (пряниками “Ленінградськими”);

– встановлені умови та терміни зберігання пряників “Харківських” з добавкою “Магнетофуд”: 30 діб при температурі (18±5) ºС та відносної вологості повітря φ=(70±5) %.

Отримані результати дають підставу рекомендувати харчову добавку “Магнетофуд” в якості стабілізатора, структуроутворювача та поліпшувача борошняної кондитерської продукції.

**Список використаних джерел**

1. *Панов Д. П.* Обогащение продуктов питания массового потребления. *Пищевые ингредиенты, сырье и добавки*. 2007. № 1. С. 30-31.

2. Обзор рынка хлебобулочных и кондитерских изделий Украины. *Хлебопекарское и кондитерское дело*. 2012. № 3.

3. Функционально-технологические свойства порошкообразного сырья и пищевых добавок в производстве кондитерских изделий / *Т. В. Рензяева* и др. *Техника и технология*

*пищевых производств.* 2014. № 4. С. 43-49.

4. Дослідження процесів окиснювальних та термічних перетвореннь в системі: олійно-ліпідо-магнетитова суспензія / *І. В. Цихановська* та ін. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. Харків, 2015. Вип. 1 (21). С. 353-362.

5. Технология производства и показатели качества пищевой добавки на основе магнетита / *Н. Г. Илюха* и др. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2010. Т. 6, № 10 (48). С. 32-35.

6. Розробка технології житньо-пшеничного хліба «Харківський родничок» з додаванням поліфункціональної харчової добавки «Магнетофуд» / *І. В. Цихановська* та ін. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2017. Т. 6, № 11 (90). С. 48-58.

7. Использование антиокислительных добавок в производстве мучных кондитерских изделий / *З. Мингалеева* и др. *Хлебопродукты.* 2007. № 11. С. 52-53.

8. Пищевые добавки на основе растительного сырья, применяемые в производстве хлебобулочных и мучних кондитерських изделий / *С. Ю. Тамазова* и др. *Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ*. Краснодар, 2016. № 122(08). С. 1099-1116. DOI: 10.21515.1990-4665-122-076.

9. *Росляков Ю. Ф., Вершинина О. Л., Гончар В. В.* Научные разработки для хлебопекарной и кондитерской отраслей. *Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК - продукты здорового питания.* 2016. № 6. С. 1-6.

10. Цитрусовые волокна Herbacel AQ Plus – тип N. *Спецификации для пищевых добавок и рецептуры*: веб-сайт. URL: specin.ru/kletchatka/109.htm (дата звернення: 02.03.2019).

11. *Горшунова К. Д., Семенова П. А., Бессонов В. В.* Взаимодействие гидроколлоидов и водорастворимых витаминов при конструировании обогащенных пищевых продуктов. *Пищевая промышленность.* 2012. № 11. С. 46–49.

12. *Рензяева Т. В., Позняковский В. М.* Водоудерживающая способность сырья и пищевых добавок в производстве мучных кондитерських изделий. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2009. № 8. С. 35–38.

13. *Булдаков А.* Пищевые добавки: справочник. 2-е изд., перераб. и доп. Москва: Санкт-Петербург, 2008. 280 с.

14. *Martins Z. E., Pinho O., Ferreira I. M. P. L. V. O.* Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 67. P. 106–128. DOI: 10.1016/j.tifs.2017.07.003.

15. A review: Modified agricultural by-products for the development and fortification of food products and nutraceuticals / *W. T. Lai* [et al.]. *Trends in Food Science & Technology*. 2017. Vol. 59. P. 148–160. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.11.014.

16. *Dziki D., Różyło R., Gawlik-Dziki U., Świeca M.* Current trends in the enhancement of antioxidant activity of wheat bread by the addition of plant materials rich in phenolic compounds. *Trends in Food Science & Technology*. 2014. Vol. 40 (1). P. 48–61. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.07.010.

17. Mango seed: Functional and nutritional properties / *C. Torres-León* [et al.]. *Trends in Food Science & Technology*. 2016. Vol. 55. P. 109–117. DOI: 10.1016/j.tifs.2016.06.009.

18. *Bharath Kumar S., Prabhasankar P.* Low glycemic index ingredients and modified starches in wheat based food processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 2014. Vol. 35 (1). P. 32–41. DOI: 10.1016/j.tifs.2013.10.007.

19. *Ngemakwe P. N., Le Roes-Hill M., Jideani V.* Advances in gluten-free bread technology. *Food Science and Technology International*. 2014. Vol. 21 (4). P. 256–276. DOI: 10.1177/1082013214531425.

20. *Bird L. G., Pilkington C. L., Saputra A., Serventi L.* Products of chickpea processing as texture improvers in gluten-free bread. *Food Science and Technology International*. 2017. 108201321771780. DOI: 10.1177/1082013217717802.

21. *García-Segovia P., Pagán-Moreno M. J., Lara I. F., Martínez-Monzó J.* Effect of microalgae incorporation on physicochemical and textural properties in wheat bread formulation. *Food Science and Technology International*. 2017. Vol. 23 (5). P. 437–447. DOI: 10.1177/1082013217700259.

22. Обгрунтування механізму взаємодії біополімерів житньо-пшеничного борошна з наночастинками харчової добавки «Магнетофуд» для підвищення вологоутримуючої здатності тіста / *І. В. Цихановська* та ін. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2018. Т. 2. № 11 (92). С. 70–80.

23. Исследование водопоглощающей способности ржано-пшеничной клейковины и ржано-пшеничной муки с добавлением полифункциональной пищевой добавки «Магнетофуд» / *І. В. Цихановська* та ін. *EUREKA: Life Sciences. Tallinn*, 2018. № 2. P. 67 – 76.

24. *Павлов А. В.* Сборник рецептур мучных кондитерских и булочных изделий для предприятий общественного питания. Санкт-Петербург: Гидрометеоиздат, 1998. 450 с.

25. *Ройтер И. М., Демчук А. П., Дробот В. И.* Новые методы контроля хлебопекарного производства. Киев: Техника, 1977. 191 с.

26. Практикум по технологии хлеба, кондитерских и макаронных изделий (технология хлебобулочных изделий) / *Л. П. Пащенко* и др. Москва: Колос, 2007. 215 с.

27. ДСТУ 4910:2008. Вироби кондитерські. Методи визначення масових часток вологи та сухих речовин. [Чинний від 2009-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2008. 14 с.

28. Методичний посібник з реологічних методів дослідження сировини та харчових продуктів, автоматизація розрахунків реологічних характеристик / *П. П. Пивоваров* та ін. Харків: ХДУХТ, 2006. 150 с.

29. ГОСТ 24901-2014. Печенье. Общие технические условия. [Дата введения 2016-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2015. 12 с.

30. *Хвостенко Е. В.*, *Солоденко Г. С.* Стабилизация качества заварных пряников из безамилозной муки в процессе хранения. *Проблеми формування здорового способу життя у молоді*: зб. матеріалів VI Всеукр. наук.-практ. конф. молодих учен. та студ. (м. Одеса, 5-6 листоп. 2013 р.). Одеса, 2013. С. 143-144.

## РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ КОНДИТЕРСКИХ ПРЯНИЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПИЩЕВОЙ ДОБАВКИ "МАГНЕТОФУД"

**Цихановская И. В.**

***Аннотация*** – в статье приведены результаты влияния пищевой добавки “Магнетофуд” на функционально-технологические свойства пряничного теста и изготовленных из него пряников. Определена величина потерь при термообработке тестовых полуфабрикатов и выход готовых изделий. Определено рациональное содержание пищевой добавки "Магнетофуд" –0,15% от массы рецептурного состава. Разработаны рецептура и технологическая схема пряников "Харьковских" с использованием "Магнетофуд".

***Ключевые слова:*** "Магнетофуд", пищевая добавка, пряники заварные, пряничное тесто, показатели качества, хранение.

# DEVELOPMENT OF RECYCLING AND TECHNOLOGY OF CONFECTIONERY BATTERIES WITH USING FOOD ADDITIVES "MAGNETOFOOD"

**I. Tsykhanovska**

**Summary**

The influence of nutritional supplement "Magnetofood" on the functional and technological properties of experimental samples of gingerbread and gingerbread cooked from it by organoleptic, physical-chemical, structural and mechanical indices was investigated.

The obtained results confirm the hypothesis of improving the technology of confectionery gingerbread products by introducing into the recipe composition of the food additive "Magnetofood": in experimental samples the introduction into the prescription composition of the additive "Magnetofood" in the amount of 0,10%; 0,15%; 0,20% to the mass of the prescription mixture promotes an increase in the humidity of the gingerbread on (1,3±0,2)%; to decrease the density of the dough (0,7±0,1) g/cm$^3$; increase in dough: the marginal shear stress – at (23±2) Pa and plastic viscosity – at (2,2±0,4) kPa·s compared to the control. When introducing a nutritional supplement "Magnetofood", the adhesion strength of the gingerbread dough decreases compared with the control at (14,8±0,1)% with the addition of 0,1% "Magnetofoot", on (25,9±0,1)% – 0,15% "Magnetofod" and on (22,2±0,1)% – 0,2% "Magnetofod" to the surface of the steel. It has been shown that the best quality gingerbread products from 0,15% of the nutritional supplement "Magnetofood" to the mass of the prescription mixture are determined by the best organoleptic quality indicators.

The rational content of the additive "Magnetofood" is established – 0,15% to the mass of raw materials. The compound formula of spicecakes "Kharkov" with the addition of "Magnetofood" is offered. Developed the technology of production of cooked gingerbread from a mixture of wheat flour and rye when using the food additive "Magnetofood". It was established that "Kharkov" gingerbreads with the use of "Magnetofood" additive have better quality indices compared to gingerbread "Leningradski" made according to the traditional technology: the output is increased to (4,3 ±0,5)%, the humidity at (2, 4±0,1)%, tasting – for (20±2)%, chewing gum – for (0,5±0,2) points; the density decreases by (0,11±0,02) g/cm$^3$; mildew – on (1,0±0,2); losses in heat treatment – on (1,8±0,2)%; alkalinity – on (0,4 ± 0,1).

The study of sorption characteristics of gingerbreads "Kharkivsky" proved that the introduction of the additive "Magnetofood" contributes to the maintenance of moisture in the product, increasing the amount of bound water (7,0±1)% compared with the control (carrots "Leningrad").

Conditions and terms of storage of gingerbread "Kharkov" with the addition of "Magnetofood": 30 days at a temperature (18±5) ºC and relative humidity φ = (70 ± 5)%.

The obtained results give grounds for recommending the food additive "Magnetofood" as a stabilizer, formulation and perfection of flour confectionery products.

**Key words:** "Magnetofud" food additive, custard cakes, gingerbread dough, quality indicators storage.

**УДК 664.933** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-60**

# РОЗРОБКА РЕЦЕПТУРИ М'ЯСНИХ КОНСЕРВІВ З ГРИБАМИ

**Кулик А. С., к. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0001-5403-3084**
**Бандура І. І., к. с.-г. н.** **https://orcid.org/0000-0001-7835-3293**
**Сердюк М. Є., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0002-6504-4093**
**Севастьянович О. С.,**
**Булгаков І. В.,**
**Гапріндашвілі Н. А., к. с.-г. н.** **https://orcid.org/0000-0002-0671-6574**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
e-mail: akkulichka@gmail.com, +380978860043
e-mail: irabandura@gmail.com, +380677209304

***Анотація*** – у статті виконано аналітичний огляд науково-технічної літератури стосовно використання грибів, як високобілкового продукту у консервному виробництві.

Розроблено 3 рецептури консервів м'ясних стерилізованих «М'ясо качки у власному соку з грибами» з частковою заміною качиного м'яса відвареними плодовими тілами гливи звичайної у кількості 10…30 %.

Встановлено, що додавання відварених плодових тіл гливи звичайної суттєво поліпшує органолептичні показники, як порівняти з контрольними зразками.

***Ключові слова:*** м'ясо, гриби, гливи, м'ясо-рослинні консерви, білок, мінеральні речовини, консерви.

**Постановка проблеми.** Дефіцит протеїнів в світі оцінюється в 15 млн т, причому переважна частина дефіциту припадає на країни, котрі розвиваються, а також на деякі країни Співдружності національних держав, у тому числі й Україну. Саме тому пошуки нових джерел білка, зокрема нетрадиційних, є на сьогодні актуальними. Одним із рішень цієї проблеми є використання культивованих грибів, які містять понад 35 % білка (у перерахунку на сухі речовини), всі незамінні амінокислоти, ненасичені жирні кислоти, вітаміни, макро- та мікроелементи [1, 2]

Одночасний збір великої кількості грибів, зокрема, гливи звичайної, і обмежений термін їх зберігання обумовлюють необхідність переробки грибів у консервовані продукти. Асортимент продукції з грибів, який виробляється на консервних заводах України, дуже обмежений. Тому є потреба в розробці нових консервів із додаванням грибів, які б слугували не тільки для поліпшення

© Кулик А. С., Бандура І. І., Сердюк М. Є., Севастьянович О. С., Булгаков І. В., Гапріндашвілі Н. А.

асортименту продукції на ринку, а й сприяли оздоровленню нації в цілому.

Гриби цінуються з декількох причин. По-перше, це дуже мала енергетична цінність, мінімальний вміст жирів та натрію. По друге, практична відсутність нітратів і нітритів. Крім того, вони використовуються у якості сировини для виробництва лікувально-профілактичних фітопрепаратів із широким спектром дії [3, 4].

Одна із значних переваг грибного білку є його високий ступінь засвоювання в людському організмі. Так, близько 100–200 г грибів достатньо для того, щоб забезпечити добову потребу людини вагою 70 кг у протеїнах [5].

Згідно з прогнозами науковців на майбутнє, більш, ніж 60 % людської потреби в протеїнах будуть задоволені завдяки промисловому культивуванню їстівних грибів. Уже сьогодні близько 80 країн світу вирощують печерицю, гливу звичайну, шиїтаке, опеньок літній, зимовий гриб, кільцевик та інші гриби в штучних умовах [6; 7].

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Вітчизняними та закордонними вченими (Рогов Й. О., Толстогузов В. Б., Бражніков А. М., Клименко М. М., Салаватуліна Р. М., Ліпатов Н. Н., та ін.) показана актуальність комплексного використання білків тваринного та рослинного походження, перспективність харчових продуктів комбінованого складу, встановлена роль функціонально-технологічних властивостей окремих інгредієнтів при розробці рецептур м’ясних виробів, запропоновані методи математично-аналітичного проектування м’ясопродуктів із заданим хімічним складом, сформульовані принципи направленого регулювання ходу основних фізико-хімічних і біологічних процесів, які відповідають за формування якісних характеристик готової продукції.

Науковцями Котляренко В. О., Терлецькою В. А. та Шиманським А. П. запропоновано технологію виробництва чіпсів із їстівних грибів [8].

Колективом авторів розроблено пастоподібний плавлений сир і спред підвищеної харчової та біологічної цінності за рахунок введення порошкоподібного грибного наповнювача, який забезпечує готові продукти цінними біокомпонентами грибної сировини, надає їм вишуканий смак і високі органолептичні властивості [9, 10].

Нгуєн Чи Кієн запропонував інноваційну технологію м'ясо-рослинних консервів та ряд рецептур на консерви м'ясо-рослинні, як, наприклад, «Рагу по-мисливськи» та «Телятина у грибному соусі», до складу яких входять подрібнені та бланшовані шампіньйони [11, 12, 13].

У виробництві м’ясних і м’ясо-рослинних консервів основну частку асортименту традиційно складає виробництво тушкованих м’ясних консервів та м'ясо-рослинних каш, сніданків та м’ясних паштетів. Зі збільшенням конкуренції, наявністю періодів сезонних коливань в реалізації даної продукції і, пов’язаного з цим, збільшення часу повернення оборотних коштів, а також значного коливання вартості імпортованої сировини, яка прив’язана до коливання курсу долара США, виробництво традиційних видів м’ясних консервів стало менш рентабельним. На наш погляд розширення асортименту продукції м'ясопереробних підприємств, в тому числі і консервного виробництв, орієнтованого на вітчизняну сировинну базу, є одним з ефективних шляхів підвищення їх конкурентоспроможності на споживчому ринку.

Вітчизняні та білоруські мікологи довели високу функціональну активність біологічно-активних речовин ксилотрофних грибів, зокрема гливи звичайної, для профілактики та лікування захворювань, пов’язаних з надлишком важких металів та радіонуклідів у продуктах харчування (Бабіцька, Горовий, Бісько).

Тому, розроблення рецептури м'ясних консервів для профілактичного харчування людей, які проживають на екологічно забруднених територіях, в тому числі тих, які постраждали в результаті радіаційного впливу є актуальним та обґрунтованим завданням. Особливістю цієї продукції є додавання свіжих або відварених грибів гливи до рецептури з традиційною сировиною. Важливість та своєчасність цієї теми підтверджують дослідження вітчизняних науковців .

Гриби збагачують продукт біологічно активними речовинами - вітамінами, мінеральними речовинами, харчовими волокнами та есенціальними елементами [14].

Сучасний асортимент м’ясних консервів із додаванням грибів широко представлений в нових видах консервів, які здебільшого виготовляють згідно з технічними умовами - «Шинка Святкова», «Фірмова з паприкою», «Фірмова з грибами») [15, 16].

У Національному університеті харчових технологій розроблено і запатентовано рецептуру консервів других страв з використанням бланшованої грибної сировини для збагачення продуктів харчовими волокнами, вітамінами, калієм, фосфором, залізом, міддю, йодом, марганцем [17].

Крім того, вже запатентовано рецептури паштетних консервів (Паштет м’ясний з грибами), що включає печінку яловичу бланшовану, м'ясо бланшоване, цибулю ріпчасту смажену, сіль, суміш спецій, який відрізняється тим, що як м'ясо використовується свинина

жилована жирна, та додатково використовується шкірка свиняча варена, легені варені, гриби бланшовані [18].

Літературний огляд за темою досліджень виявив стійкий інтерес фахівців галузі до удосконалення асортименту м'ясоконсервного виробництва зі збільшенням частки продуктів на основі субпродуктів та м'яса птиці, введення до складу рецептур, нетрадиційної сировини, білоквмісних наповнювачів як рослинного так і тваринного походження, що дозволяє знизити собівартість консервів, без зниження їх харчової цінності. В умовах роботи підприємств з м'ясною сировиною з низькими технологічними характеристиками використання білоквмісних наповнювачів і харчових добавок дозволяє підвищити технологічність сировинних фабрикатів і відповідно підвищувати сенсорні характеристики консервів, що виробляються [19].

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Мета статті – обґрунтування технології виробництва м'ясних консервів із додаванням відварених плодових тіл гливи звичайної.

Завдання:

- Здійснити патентний пошук та аналіз літературних джерел за темою досліджень;
- Розробити рецептури консервів м'ясних стерилізованих «М'ясо качки у власному соку з грибами» з частковою заміною качиного м'яса відвареними плодовими тілами гливи звичайної;
- Проаналізувати зразки консервів «М'ясо качки у власному соку з грибами» за органолептичними показниками на відповідність вимогам стандартів.

Об'єкт дослідження – м'ясо качине, відварені плодові тіла гливи звичайної (ВПТГ), готові м'ясо-рослинні консерви.

Предмет дослідження – технологія виробництва м'ясо-рослинних консервів збалансованого складу з використанням відварених плодових тіл гливи звичайної.

**Матеріали і методи.** За чинними стандартами консерви м'ясо-рослинні виробляють із м'яса і рослинної сировини. Це можуть бути перші (супи, борщ, розсольник) і другі страви. В перших стравах вміст м'яса коливається в межах від 10 до 29 %, а у других стравах − від 35 до 45 %. Таким чином, вироблені за нашими рецептурами консерви можуть бути запроваджені у виробництво під назвою «Консерви м'ясні стерилізовані «М'ясо качки у власному соку з грибами».

При розробці рецептур м'ясних консервів керувались наявністю м'ясної сировинної бази, доступністю і економічною доцільністю використання ВПТГ. Консерви виготовляли методом стерилізації у сухому пару з режимом 20-90-20 , t = 120$^{o}$ C ; P = 0,10-0,20 МПа.

В роботі було досліджено 3 варіанти рецептури консервів з м’яса птиці з ВПТГ в кількості від 10 до 30 % за сирою вагою. За контроль були обрані зразки консервів, виготовлені згідно ДСТУ 7681:2015, які містили 97,4 % качиного м’яса. Також в рецептуру дослідних зразків входили такі інгредієнти, як морква та прянощі (табл. 1).

*Таблиця 1*

**Рецептури консервів м'ясних стерилізованих «М'ясо качки у власному соку з грибами»**

| Сировина | Контроль за ДСТУ 7681:2015 | Варіант рецептури | | |
|---|---|---|---|---|
| | | №1 | №2 | №3 |
| Кількість сировини %, на 100 кг | | | | |
| Качине м’ясо | 97,4 | 87,4 | 77,4 | 67,4 |
| Гриби глива варені | - | 10 | 20 | 30 |
| Морква подрібнена | 1,53 | 1,53 | 1,53 | 1,53 |
| Сіль кухарська харчова | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| Перець чорний мелений | 0,05 | 0,05 | 0,05 | 0,05 |
| Лист лавровий | 0,02 | 0,02 | 0,02 | 0,02 |

До комплексу технологічних показників, які визначають якість м’ясо-рослинних консервів, відносять органолептичні показники. Основною перевагою органолептичного аналізу як методу оцінки якості продукції є можливість відносно швидкого визначення придатності продукту до споживання. Такі показники, як колір м’яса, колір рідинної складової, смак, запах, консистенція дають загальне уявлення про продукт і вказують на правильний вибір основних інгредієнтів та їх співвідношення.

Органолептичну оцінку проводили за п'ятибальною шкалою з побудуванням «павутини якості». Дані органолептичної оцінки наведено на рис. 1.

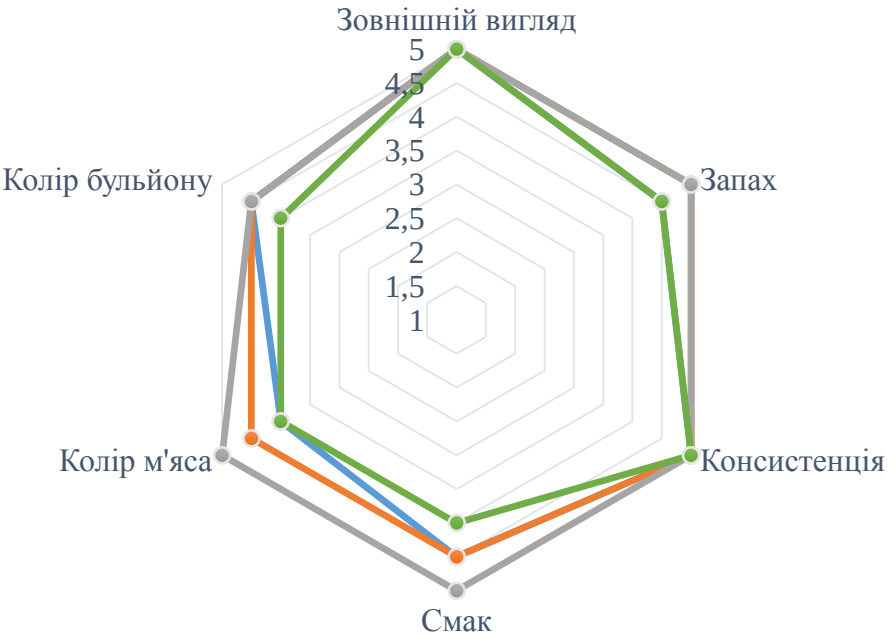



Рис. 1. Результати органолептичного аналізу розроблених зразків м'ясо-рослинних консервів: - контроль, - 1, - 2, - 3.

За перевіреними органолептичними показниками: зовнішній вигляд, колір м’яса, колір та вигляд м’ясного соку у нагрітому стані, консистенція – усі зразки відповідали вимогам стандарту. Смак і запах властиві вареному м’ясу з ароматом прянощів, без стороннього присмаку та запаху. Шматочки м’яса, масою більш ніж 30 г, колір м’яса та м’ясного соку у нагрітому стані сірого кольору з коричневим та рожевим відтінками різної інтенсивності з наявністю завислих білкових речовин у вигляді пластівців. М’ясо нежорстке, овочі добре проварені, під час обережного виймання з банки шматочки не розпадаються.

В результаті проведеної органолептичної оцінки м’ясо-рослинних консервів встановлено, що часткова заміна м’ясної сировини відвареними плодовими тілами гливи звичайної (ВПТГ), в цілому не знижує органолептичних показників розроблених продуктів, а у варіантах 2-3 вони суттєво вищі, ніж у контрольному зразку. Так, середній бал органолептичної оцінки склав для контрольного зразку 4,4 для 1, 2, 3 – 4,5, 4,75 та 4,9 бали відповідно.

Отже, можна зробити висновок, що додавання 10…30% ВПТГ до м’ясо-рослинних консервів позитивно впливає на органолептичні показники готового продукту.

**Висновок.** За результатами аналізу патентних і наукових джерел запропоновано напрями удосконалення існуючих способів

технологічної переробки плодових тіл гливи звичайної для виробництва м’ясо-рослинної продукції, зокрема консервів.

Обґрунтовано доцільність використання грибів гливи за сукупністю достатніх показників якості як об’єктів технологічного перероблювання у складі консервованої продукції.

Розроблено 3 рецептури консервів м'ясних стерилізованих «М'ясо качки у власному соку з грибами» з частковою заміною качиного м’яса відвареними плодовими тілами гливи звичайної у кількості 10…30 %.

Розроблені консерви характеризуються високою харчовою цінністю та сприяють оптимізації хімічного складу раціону харчування (за рахунок вмісту вітамінів, білків, мікроелементів). Додавання відварених плодових тіл гливи звичайної поліпшує органолептичні показники продукту, порівняно з контрольними зразками, що підтверджено результатами дегустаційної оцінки (4,9 проти 4,5 у контролі). За органолептичними показниками якості розроблені рибо-рослинні пресерви відповідали вимогам чинної нормативно-технічної документації

Отримані результати дають змогу говорити, про перспективний напрям продовження відповідних досліджень з метою підвищення біологічної цінності рецептури м’ясо-рослинних консервів за рахунок зростання вмісту рослинної сировини (грибів) до 50 %.

**Список використаних джерел**

1. *Дятлов В. В., Попова Н. А., Медведкова И. И.* Качество и безвредность шампиньонов при хранении. *Товарознавчий вісник.* 2011. № 3. С. 95-103.

2. *Akram K., Kwon J. H.* Food irradiation for mushrooms: A review. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 2010. № 53(3). P. 257-265.

3. *Smith J. E., Rowan N. J., Sullivan R.* Medicinal mushrooms: a rapidly developing area of biotechnology for cancer therapy and other bioactivities. *Biotechnology Letters*. 2002. № 24 (22). P. 1839-1845.

4. *Kakon A. J., Choudhury M. B. K., Saha S.* Mushroom is an ideal food supplement. *Journal of Dhaka National Medical College & Hospital*. 2002. № 18(1). P. 58-62.

5. *Сімахіна Г., Гойко І., Стеценко Н.* Переробка їстівних грибів для отримання білоквмісних напівфабрикатів. *Товари і ринки*. 2014. № 2. С. 70-83.

6. 25 років дослідження проблеми культивування їстівних грибів в Україні / *К. М. Ситнік* та ін. *Методологические основы познания биологических особенностей грибов продуцентов,*

*физиологически активных соединений и пищевых продуктов:* материалы 2-й междунар. конф. Донецк, 2002. С. 5-9.

7. *Азарова В. А.* Экологические аспекты интенсивного культивирования грибов рода Pleurotus в Приамурье: дис. … канд. биол. наук : 03.00.16. Хабаровск, 2010. 180 с.

8. Спосіб виробництва чипсів: пат. 31085 Україна: МПК A23L 1/214, A23L 1/28. № u200713152 ; заявл. 27.11.2007 ; опубл. 25.03.2008, Бюл. № 6.

9. Спосіб виробництва пастоподібного плавленого сиру: пат. 89007 Україна: МПК A23C19/08. № 201312351 ; заявл. 21.10.2013 ; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7.

10. Спосіб виробництва спреду з наповнювачем: пат. 90654 Україна: МПК A23C15/12, A23D7/00. № 201313516 ; заявл. 20.11.2013 ; опубл. 10.06.2014, Бюл. № 11.

11. Консерви м'ясо-рослинні "Язик під французьким соусом": пат. 16151 Україна: МПК A23B 4/00. № u200602489; заявл. 07.03.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

12. Консерви м'ясо-рослинні "Рагу по-мисливськи": пат. 16155 Україна: МПК A23B 4/00. № u200602494; заявл. 07.03.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

13. Консерви м'ясо-рослинні "Телятина у грибному соусі": пат. 16153 Україна: МПК A23B 4/00. № u200602491; заявл. 07.03.2006; опубл. 17.07.2006, Бюл. № 7.

14. *Cheung P. C.* The nutritional and health benefits of mushrooms. *Nutrition Bulletin*. 2010. Vol. 35, № 4. P. 292-299.

15. ТУ У 15.1-02070938-084:2006. Консерви мясні з харчовими композиціями шинкові.

16. ТУ У 15.1-02070938-092:2008. Консерви мясні та м’ясо-рослинні з харчовими композиціями. Другі страви.

17. Консерви других страв з грибами бланшованими: пат. 82952 Україна: МПК A23L 1/00 (2013.01). № 201301104; заявл. 29.01.2013; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 16.

18. Паштет м’ясний з грибами бланшованими: пат. 80711 Україна: МПК A23L 1/317 (2006.01). № 201214253; заявл. 13.12.2012; опубл. 10.06.2013, Бюл. № 11.

19. *Пасічний В. М., Жабіна О. Б., Ястреба Ю. А.* Перспективи використання грибів у виробництві м’ясних та м’ясо-рослиннях консервів. *М’ясний бізнес*. 2009. № 11 (84). С. 32-33.

# РАЗРАБОТКА РЕЦЕПТУРЫ МЯСНЫХ КОНСЕРВОВ С ГРИБАМИ

**Кулик А. С., Бандура И. И., Сердюк М. Е., Севастьянович А. С., Булгаков И. В., Гаприндашвили Н. А.**

***Аннотация*** – в статье выполнен аналитический обзор научно-технической литературы относительно использования грибов, как высокобелкового продукта в консервном производстве.

Разработано 3 рецептуры консервов мясных стерилизованных «М'ясо качки у власному соку з грибами» с частичной заменой утиного мяса отваренными плодовыми телами вешенки обычной в количестве 10…30 %.

Установлено, что добавление отваренных плодовых тел вешенки обычной существенно улучшает органолептические показатели, которые сравнивались с контрольными образцами.

***Ключевые слова*** - мясо, вешенка, мясо-растительные консервы, белок, минеральные вещества, консервы.

# DEVELOPMENT OF RECIPES CANNED MEAT PRODUCTS WITH MUSHROOMS

**A. Kulyk, I. Bandura, M. Serdyuk, O. Sevastyanovish, I. Bulgakov, N. Gaprindashvili**

***Summary***

According to the results of the analysis of patent and scientific sources about existing methods of preparing the mixed meat- vegetables canned food, the new improvement recipe of preserves from meat with Oyster mushrooms were proposed. The composition of canned products from duck meat with 10 ... 30% boiled fruit bodies of mushrooms was substantiated under results of organoleptic indices and physicochemical quality indicators.

Three new recipes of preserves with the name «Duck meat in own juice with mushrooms» which has contained partial replacement of duck meat to boiled fruit bodies of oyster mushrooms in the amount of 10, 20 and 30% from the raw weight were developed.

Furthermore, these canned products have had high nutritional value and contained the optimized chemical composition due to the content of proteins, bioactive glucans, vitamins, and essential elements. The addition of boiled oyster mushroom has improved the organoleptic characteristics of the variants of preserves in comparing to the control samples by tasting assessment (4.9 versus 4.5 in control). It should be noted, the requirements of the Ukrainian normative and technical documentation to the technological and organoleptic indices of meat-vegetables canned products have been respected.

In conclusion, this research gives the promising effect of using mushroom (we can suppose to the 50% of raw materials) for the purpose to increase of the biochemical value and taste indices of canned meat product.

***Key words*** - meat, mushrooms, canned meat and vegetable, protein, biochemical value, canned food.

**УДК 614.8** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-61**

# МОДЕЛЮВАННЯ ПОЛЯ ІНДИВІДУАЛЬНОГО РИЗИКУ НА КОМБІКОРМОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

**Соболь О. М., д.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-7133-6519**
**Тютюник В. В., д.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-5394-6367**
**Ляшевська О. І. , к.н.держ. упр.https://orcid.org/0000-0002-1469-4141**
*Національний університет цивільного захисту України, м. Харків*
e-mail: sobol@nuczu.edu.ua
**Соболь В. М. , к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0003-1611-5534**
*Харківський національний університет будівництва та архітектури*
e-mail: sobol_vn@ukr.net

***Анотація*** **–** метою даної роботи є розробка методу побудови поля індивідуального ризику на об'єктах комбікормового виробництва для виявлення областей можливого ураження людей, аналіз можливих чинників виникнення аварії та порівняння рівнів ризиків з припустимими. В роботі використовуються методи побудови та аналізу дерев відмов (несправностей), методи оцінки індивідуального ризику для людини загинути внаслідок небезпечної події, методи інтерполяції функції двох змінних.

Авторами здійснено побудову дерева відмов для аналізу небезпек комбікормового виробництва. Одержано ймовірності первинних відмов, до яких відносяться: порушення техніки безпеки, попадання тліючих частинок з обладнання, іскри від зварювальних робіт, джерело займання від потрапляння тліючих частинок, утворення пилу в пиловій шахті, утворення пилу в осадових камерах. Це дозволило визначити ймовірність виникнення небезпечної події (вибух в системі аспірації) та обчислити індивідуальний ризик для людини отримати ушкодження (загинути) внаслідок аварії. Здійснено побудову поля ризику на прикладі ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод», що дозволило провести порівняння рівнів ризику з припустимими.

Наукова новизна даної роботи полягає у розробці метода побудови поля індивідуального ризику для об'єктивної оцінки потенційної небезпеки на об'єктах комбікормового виробництва, складовими якого є: метод побудови дерева відмов для комбікормового виробництва, метод оцінки індивідуального ризику, метод побудови зон ризику в залежності від надлишкового тиску на фронті повітряної ударної хвилі, яка утворюється внаслідок вибуху в системі аспірації.

Практична значущість даної роботи полягає у тому, що її результати можуть бути використані для проведення аудиту пожежної та техногенної безпеки на комбікормових підприємствах, що є актуальним в умовах реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій та впровадження ризик-орієнтованого підходу у практичну діяльність наглядових органів.

***Ключові слова:*** поле індивідуального ризику, комбікормове виробництво, дерево відмов, пожежна та техногенна безпека.

© Соболь О. М., Тютюник В. В., Ляшевська О. І., Соболь В. М.

**Постановка проблеми.** Аналіз аварій на небезпечних виробничих об'єктах є складовою частиною управління пожежною безпекою і полягає в систематичному використанні всієї доступної інформації для ідентифікації небезпек і оцінки ризику. Статистичні дані свідчать, що на об’єктах агропромислового комплексу під час транспортування та зберігання комбікормової суміші протягом 2012-2016 років виникло 64 пожежі, під час яких знищено 1 будівлю, пошкоджено – 39; знищено 1024,35 тис. тон комбікормової суміші.

Прямі збитки від пожеж склали 4113,403 тис. грн., а побічні – 5036,96 тис. грн. На об’єктах приватної власності сталося 60 пожеж, державної – 4, загибелі людей допущено не було. Окрім того простежується тенденція щодо зростання кількості пожеж та збитків від них.

Як приклади пожеж та вибухів на об’єктах комбікормового виробництва можна навести такі:

– 28.03.2015 р. стався вибух на заводі комбікорму «Фідлайф», с. Бараниківка Луганської області. По завданню начальника цеху зварювальники робили навіс над аспіраційною шахтою і сходовою кліткою на даху робочої будівлі елеватора. Під час зварних робіт через щілини в настилі в шахту потрапили іскри, що призвело до займання пилу. При спробі загасити вогнище загоряння з пожежного рукава стався первинний вибух з викидом полум'я з аспіраційної шахти. Причина – проведення вогневих робіт з грубим порушенням вимог вибухобезпеки: без наряду-допуску та необхідної підготовки місця їх виконання. Наслідки вибуху – постраждало дві людини, вибито скло робочої будівлі, частково зруйновані перекриття галереї приймального пристрою;

– 08.08.2016 р. сталася пожежа в цеху для виготовлення комбікорму ТОВ «Техагросоюз», Чернігівська область. В ході розслідування причини і обставин виникнення пожежі було встановлено, що через зношеність аварійного клапана випуску пари і пилу устаткування стався вибух запорошено-повітряної суміші з подальшим горінням сировини. Внаслідок пожежі було ушкоджено виробниче устаткування та сировина для виготовлення комбікорму;

– 10.06.2017 р. сталася масштабна пожежа в одному із складів зберігання зерна ТОВ «Кононівський елеватор», с. Семенівка Полтавської області. Дана пожежа поширилася на два сусідніх зерносклади. Причина – коротке замикання в електропроводці зерносховищ. Відзначено відсутність проектної документації електропостачання елеватора. Наслідки пожежі – вогнем знищено кукурудзу, промислове обладнання та майно, також шиферна покрівля та перекриття зерносховищ №5, 6, 7, площею 3400 м².

Враховуючи вищевикладене, а також те, що разом валовий збір зернових культур сягає біля 6-7 млн. тонн на рік, існує актуальна науково-прикладна проблема забезпечення пожежної безпеки при транспортуванні та зберіганні зерна, а також комбікормової суміші.

Наявність зазначеної проблеми не лише в Україні підтверджує той факт, що протягом 2010-2015 рр. на об'єктах зберігання та переробки зерна в Німеччині сталося 105 вибухів, а в США – 133. В обох країнах загинуло 40 осіб, поранених в Німеччині – 173 осіб, в США – 210 осіб.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Великі аварії характеризуються комбінацією випадкових подій, що виникають з різною частотою на різних стадіях аварії (відмови устаткування, помилки людини, нерозрахункові зовнішні впливи, руйнування, викид, розсіювання речовин, займання, вибух, інтоксикація і т.д.).

Для виявлення причинно-наслідкових зв'язків між цими подіями використовують логіко-графічні методи аналізу. Оцінка ризику проводиться на основі статистичного підходу з визначенням ймовірності виникнення ініціюючих подій, ймовірності виникнення певних рівнів вражаючих негативних впливів на людей та об'єкти, а також ймовірності того, що зазначені рівні впливу приведуть до певного збитку [1].

Для розрахунку ймовірності ініціюючої події використовують статистичні дані про відмови устаткування в умовах експлуатації, а також дані про надійність різних технологічних апаратів, систем контролю і автоматики з нормативно-технічної документації, стандартів і паспортів на елементи об'єкта. Наступний крок – побудова дерева відмов, що являє собою логічну схему причинно-наслідкових закономірностей виникнення аварії і, при цьому, показує послідовність і поєднання різних подій (відмов, помилок, нерозрахованих зовнішніх впливів), виникнення яких може призводити до розгерметизації і подальшої аварійної ситуації. Процедурам побудови та аналізу дерев відмов присвячено, наприклад, роботу [2].

Визначення ймовірності формування негативного впливу здійснюється з використанням логіко-ймовірнісних моделей і аналітичних моделей розрахунку параметрів вражаючих факторів надзвичайної ситуації.

Ймовірність нанесення шкоди здоров'ю людини, руйнування житлових і виробничих будівель в результаті негативного впливу факторів надзвичайної ситуації (НС) визначається за допомогою пробіт-функції [1].

Слід зауважити, що під ризиком аварії будемо розуміти міру небезпеки, яка характеризує можливість виникнення аварії на об’єкті

комбікормового виробництва та її наслідки. Серед основних кількісних показників ризику розглянемо такі:

– технічний ризик – ймовірність відмови технічних пристроїв з наслідками відповідного рівня за визначений період функціонування об’єкта;
– індивідуальний ризик – ймовірність враження окремої людини внаслідок впливу небезпечних факторів аварії;
– потенціальний територіальний ризик – просторове розподілення можливої реалізації негативного впливу відповідного рівня.

Що стосується робіт, які присвячені визначенню ризиків виникнення небезпечних подій на пожежовибухонебезпечних об’єктах (локальні ризики), то до них відносяться, наприклад, [1, 3].

Припустимі рівні ризиків виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру наведено в [4].

Аналіз досліджень, присвячених визначенню ризиків виникнення небезпечних подій, показує, що в даних роботах розглядаються такі пожежовибухонебезпечні об’єкти, як резервуари для зберігання палива, об’єкти транспортування та зберігання зерна, хімічно небезпечні об’єкти тощо. Разом з тим, майже не приділяється уваги об’єктам комбікормового виробництва, в яких аварії пов’язані з вибухом пило-повітряних сумішей. Таким чином, існує необхідність у проведенні наукових досліджень стосовно оцінки індивідуального ризику на зазначених об’єктах.

**Формулювання цілей статті.** В даній роботі необхідно розробити метод побудови поля індивідуального ризику на об’єктах комбікормового виробництва для виявлення областей можливого ураження людей, провести аналіз можливих чинників виникнення аварії та порівняти одержані рівні ризиків з припустимими.

**Основна частина.** Перш за все, здійснимо побудову дерева відмов на об’єктах комбікормового виробництва.

Основною аварійною ситуацією, яка в результаті розвитку може призвести до пожеж і вибухів на виробництві, є вибух в системі аспірації.

Слід відзначити, що до первинних відмов відносяться такі:

– порушення техніки безпеки (ймовірність події $P_1 = 2{,}57 \cdot 10^{-3}$);

– потрапляння тліючих частинок з аспіруємогообладнання ($P_2 = 5{,}01 \cdot 10^{-7}$);

– іскри від зварювальних робіт ($P_3 = 2{,}57 \cdot 10^{-3}$);

– джерело займання від потрапляння тліючих частинок ($P_4 = 5{,}01 \cdot 10^{-7}$);

– утворення пилу в пиловій шахті ($P_5 = 2{,}7 \cdot 10^{-3}$);

– утворення пилу в осадових камерах ($P_6 = 2{,}4 \cdot 10^{-2}$).

Що стосується ймовірностей проміжних та завершальної події, то вони наведені у таблиці 1.

*Таблиця 1*

**Ймовірності проміжних та завершальної події**

| Шифр | Опис | Ймовірність |
|---|---|---|
| $T_5$ | Вибух в системі аспірації | $6{,}6*10^{-6}$ |
| $T_4$ | Вибух в аспіруємому об'єкті | $6{,}6*10^{-6}$ |
| $T_3$ | Утворення джерела займання | $2{,}6*10^{-3}$ |
| $T_2$ | Вибух в технологічному обладнанні | $1{,}4*10^{-8}$ |
| $T_1$ | Утворення пило-повітряної суміші | $2{,}7*10^{-3}$ |

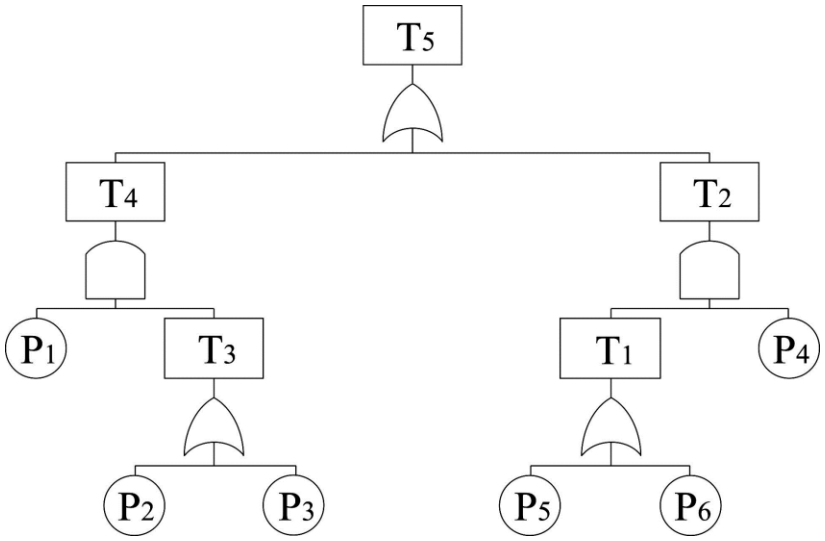



Рис. 1. Дерево відмов для комбікормового виробництва

Побудоване дерево відмов, яке характерне для комбікормового виробництва, представлено на рис. 1. Аналіз даного дерева дозволив зробити такі висновки:

– ймовірність завершальної (небажаної) події дорівнює $6{,}6*10^{-6}$;

– найбільш «слабкими» місцями дерева відмов є схеми «АБО», виходами яких є проміжні події $T_1$ та $T_3$, а також завершальна подія $T_5$.

Розглянемо підхід до оцінки ризику виникнення аварії на об'єктах комбікормового виробництва на прикладі ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод».

Індивідуальний ризик ураженнялюдини, що знаходиться у відповідній точці, будемо оцінювати за допомогою виразу [1]

$$R(x,y) = \sum_{ij} P_i(A) \cdot P_{ij}(x,y) \cdot P_j(L) \cdot f_k ,$$

де $P_i(A)$ – ймовірність аварії за $i$-тим сценарієм (у даному випадку – вибух в системі аспірації), яка визначається шляхом аналізу дерева відмов;

$P_{ij}(x,y)$ – умовна ймовірність реалізації $j$-го механізму впливу у точці $(x,y)$ для сценарію $i$ (у даному випадку – дефлаграційний вибух);

$P_j(L)$ – умовна ймовірність загибелі людини при реалізації $j$-го механізму впливу (розглядається можливість ураження повітряною ударною хвилею, оцінка здійснюється за допомогою пробіт-функції);

$f_k$ – ймовірність присутності $k$-го індивіду в даній області.

Результати розрахунків індивідуального ризику ураження людини на ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод» наведені у таблиці 2.

*Таблиця 2*

**Індивідуальний ризик ураження людей**

| Надлишковий тиск, ΔР, кПа | $R(x,y)$ |
|---|---|
| 100 | $1.4*10^{-6}$ |
| 70 | $1.4*10^{-6}$ |
| 53 | $1.34*10^{-6}$ |
| 28 | $1.17*10^{-6}$ |
| 14 | $4.37*10^{-7}$ |

Слід відзначити, що найбільше значення індивідуального ризику не перевищує гранично допустимого рівня ($1*10^{-5}$), встановленого Концепцією управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру.

Здійснимо побудову поля індивідуального ризику на ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод». На рис. 2 наведено області у вигляді кіл, що характеризують зміну надлишкового тиску на фронті повітряної ударної хвилі, причому радіуси даних кіл дорівнюють: $r_1 = 2{,}12$ м (ΔР = 100 кПа), $r_2 = 3{,}12$ м (ΔР = 70 кПа), $r_3 = 5{,}41$ м (ΔР = 53 кПа), $r_4 = 15{,}7$ м (ΔР = 28 кПа), $r_5 = 31{,}4$ м (ΔР = 14 кПа).

Наступний крок – територію об’єкта необхідно покрити регулярною сіткою, крок якої у напрямку осі абсцис дорівнює $\Delta x = x_{i+1} - x_i$, $i = 0,...,n-1$, а у напрямку осі ординат – $\Delta y = y_{j-1} - y_j$ ,(рис. 2)

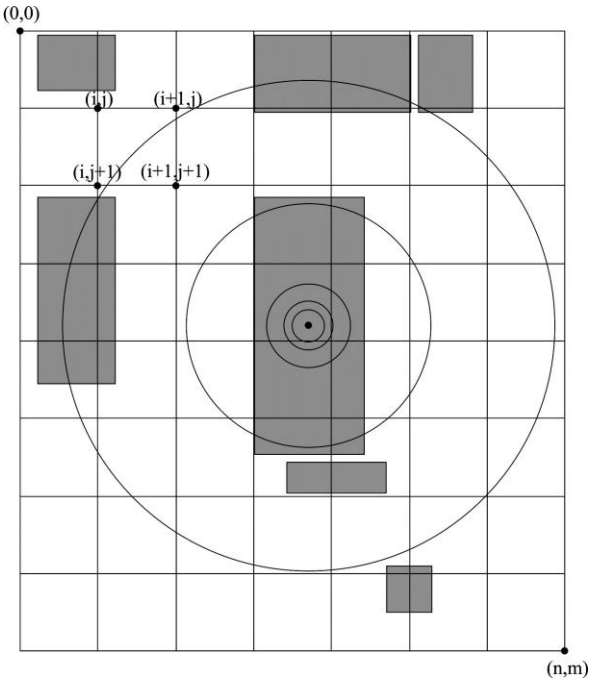



Рис. 2. Покриття території об’єкта регулярною прямокутною сіткою

Нехай у вузлах сітки з координатами $\left(x_i, y_j\right)$, $i = 0,...,n$, $j = 0,...,m$ відомі значення сумарного ризику $r_{ij}$. Тоді для побудови поля сумарного ризику можна застосувати, наприклад, інтерполяційний поліном Лагранжа [5-7]

$$L_{nm}\left(x,y\right) = \sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m} l_{ij}\left(x,y\right) r_{ij} \,, \qquad (1)$$

де $l_{ij}\left(x_i, y_j\right) = 1$ та $l_{ij}\left(x,y\right) = 0$ при $\forall x \neq x_i$, $\forall y \neq y_j$.

Базисні поліноми, наприклад $L_{nm}\left(x,y\right)$, обчислюються за допомогою виразу

$$L_{nm}\left(x,y\right) = \prod_{\substack{i=0 \\ i\neq n}}^{n}\prod_{\substack{j=0 \\ j\neq m}}^{m} \frac{\left(x-x_i\right)\left(y-y_j\right)}{\left(x_n-x_i\right)\left(y_m-y_j\right)} \,.$$

Відзначемо, метод інтерполяції дискретної функції поліномом Лагранжа відноситься до методів глобальної інтерполяції, причому

ступінь поліному буде дорівнювати $n \times m$. При збільшенні кількості вузлів інтерполяції це призведе до зростання похибки. Розглянемо методи лінійної інтерполяції поля сумарного ризику.

При застосуванні білінійної інтерполяції здійснюється розширення лінійної інтерполяції для функції двох змінних. Нехай $x \in \left[x_i, x_{i+1}\right]$, $y \in \left[y_j, y_{j+1}\right]$ (рис. 2). Тоді інтерполяційна функція

$$r(x,y) = r_{ij}\frac{(x_{i+1}-x)(y_{j+1}-y)}{(x_{i+1}-x_i)(y_{j+1}-y_j)} + r_{i+1,j}\frac{(x-x_i)(y_{j+1}-y)}{(x_{i+1}-x_i)(y_{j+1}-y_j)} + r_{i,j+1}\frac{(x_{i+1}-x)(y-y_j)}{(x_{i+1}-x_i)(y_{j+1}-y_j)} + r_{i+1,j+1}\frac{(x-x_i)(y-y_j)}{(x_{i+1}-x_i)(y_{j+1}-y_j)} \quad (2)$$

За допомогою виразу (2) обчислюються значення даної функції $r^*_{0,k}\left(x^*_k, y^*_k\right)$ у заданих точках $P^*_k\left(x^*_k, y^*_k\right)$, $k = 1,...,K$. Далі здійснюється зменшення кроку сітки, $\Delta x = \Delta x/2$, $\Delta y = \Delta y/2$ (рис. 3), і знову обчислюються значення функції у заданих точках.

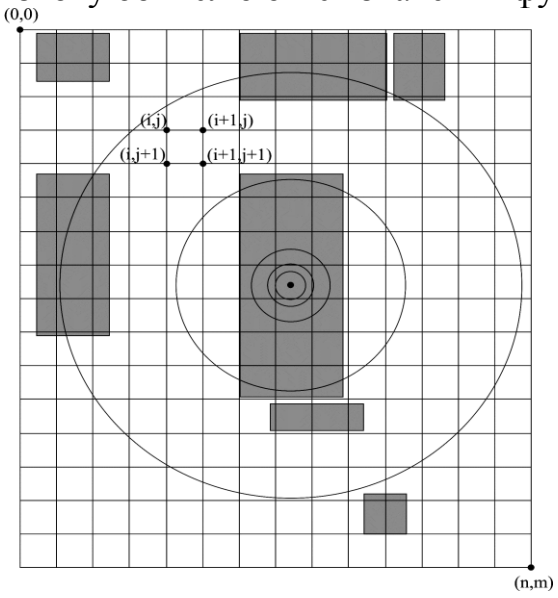



Рис. 3. Застосування прямокутної сітки зі зменшеним кроком

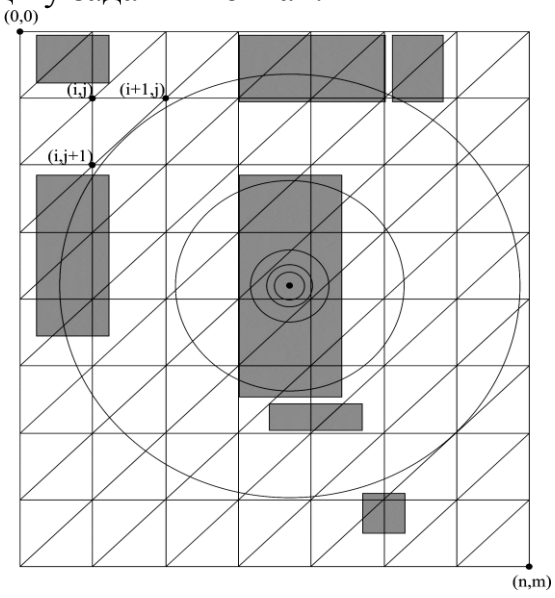



Рис. 4. Застосування трикутної сітки

Даний процес завершується при виконанні такої умови:

$$\max_k \left| r^*_{q,k}\left(x^*_k, y^*_k\right) - r^*_{q-1,k}\left(x^*_k, y^*_k\right)\right| \le \varepsilon, \qquad (3)$$

де $q$ – номер ітерації, $q = 1, 2, ...;$ $\varepsilon$ – задане значення похибки.

У випадку завдання трикутної сітки (рис. 4), можна побудувати поле сумарного ризику за допомогою такого виразу:

$$r(x, y) = \frac{1}{D_3}\left(D_0 - D_1 x - D_2 y\right), \qquad (4)$$

причому:

$$D_0 = \begin{vmatrix} x_i & y_j & r_{ij} \\ x_{i+1} & y_j & r_{i+1,j} \\ x_i & y_{j+1} & r_{i,j+1} \end{vmatrix}; \qquad D_1 = \begin{vmatrix} y_j & r_{ij} & 1 \\ y_j & r_{i+1,j} & 1 \\ y_{j+1} & r_{i,j+1} & 1 \end{vmatrix};$$

$$D_2 = \begin{vmatrix} x_i & r_{ij} & 1 \\ x_{i+1} & r_{i+1,j} & 1 \\ x_i & r_{i,j+1} & 1 \end{vmatrix}; \qquad D_3 = \begin{vmatrix} x_i & y_j & 1 \\ x_{i+1} & y_j & 1 \\ x_i & y_{j+1} & 1 \end{vmatrix}.$$

Далі також здійснюється ітераційний процес зі зменшенням кроку сітки, а завершується побудова поля сумарного ризику відповідно до виразу (3).

На рис. 5 наведено результат побудови поля індивідуального ризику за допомогою білінійної інтерполяції. Слід відзначити, що крок сітки в обох напрямах дорівнював 5 м. Таким чином, запропонований метод побудови поля індивідуального ризику може бути використаний з метою аналізу просторового розповсюдження даного ризику на об’єкті, а також при застосуванні ризик орієнтованого підходу у наглядовій діяльності.

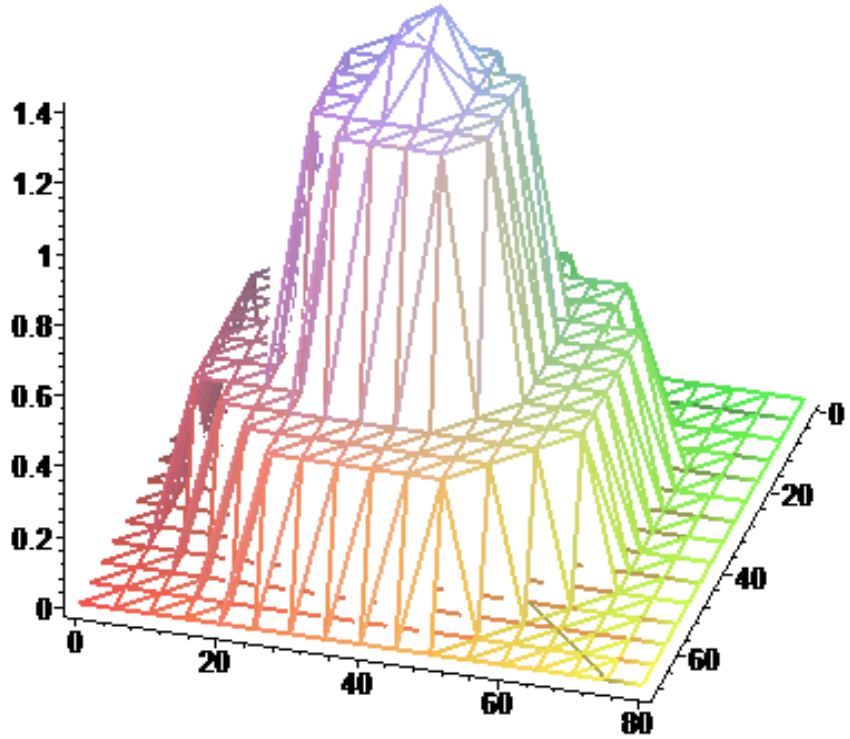



Рис. 5. Поле індивідуального ризику на ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод»

**Висновки.** В даній роботі розроблено метод побудови поля індивідуального ризику на об'єктах комбікормового виробництва для виявлення областей можливого ураження людей. Виявлено небезпечні етапи технологічного процесу виробництва комбікормових сумішей на ТОВ «Красноармійський комбікормовий завод». Разом з тим, найбільше значення індивідуального ризику на даному об'єкті не перевищує гранично допустимого рівня, встановленого нормативними документами. Практична значущість даної роботи полягає у тому, що її результати можуть бути використані для проведення аудиту пожежної та техногенної безпеки на комбікормових підприємствах, що є актуальним в умовах реформування Державної служби України з надзвичайних ситуацій та впровадження ризик-орієнтованого підходу у практичну діяльність наглядових органів. Подальші дослідження будуть спрямовані на розробку методів оцінки ризиків для потенційно небезпечних об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки.

## Список використаних джерел

1. *Галеев А. Д.* Анализ риска аварий на опасных производственных объектах : учебное пособие / А. Д. Галеев, С. И. Поникаров. – Казань : Изд-во КНИТУ, 2017. – 152 с.

2. *Рыжков Ф. Н.* Надежность технических систем и управление риском: учебное пособие / Ф. Н. Рыжков, В. И. Томаков. – Курск, 2000. 346 с.
3. *Вишняков Я. Д.* Общая теория рисков: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / Я. Д. Вишняков, Н. Н. Радаев. М.: Издательский центр «Академия», 2008. 368 с.
4. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 22 січня 2014 р. №37-р «Про схвалення Концепції управління ризиками виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://zakon0.rada.gov.ua/laws/show/37-2014-%D1%80.
5. *Задачин В. М.* Чисельні методи: навчальний посібник / В. М. Задачин, І. Г. Конюшенко. Х. : Вид. ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2014. – 180 с.
6. *Возняк Л.С.* Чисельні методи: методичний посібник / Л.С. Возняк, С. В. Шарин – Івано-Франківськ: “Плай”, 2001, 64 с.
7. *Калиткин Н. Н.* Численные методы: учебное пособие / Н. Н. Калиткин. С.-Пб: BHV, 2011. 592 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО РИСКА НА КОМБИКОРМОВОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Соболь А. Н., Тютюник В. В., Ляшевская Е. И., Соболь В. Н.

***Аннотация***

Целью данной работы является разработка метода построения поля индивидуального риска на объектах комбикормового производства для выявления областей возможного поражения людей, анализ возможных факторов возникновения аварии и сравнения уровней рисков с допустимыми.

В работе используются методы построения и анализа деревьев отказов (неисправностей), методы оценки индивидуального риска для человека погибнуть в результате опасного события, методы интерполяции функции двух переменных.

Авторами выполнено построение дерева отказов для анализа опасностей комбикормового производства. Получены вероятности первичных отказов, к которым относятся: нарушение техники безопасности, попадание тлеющих частиц на оборудование, искры от сварочных работ, источник возгорания от попадания тлеющих частиц, образование пыли в пылевой шахте, образование пыли в осадочных камерах. Это позволило определить вероятность возникновения опасного события (взрыв в системе аспирации) и вычислить индивидуальный риск для человека получить повреждения (погибнуть) вследствие аварии. Осуществлено построение поля риска на примере ООО «Красноармейский комбикормовый завод», что позволило провести сравнение уровней риска с допустимыми.

Научная новизна данной работы заключается в разработке метода построения поля индивидуального риска для объективной оценки потенциальной опасности на объектах комбикормового производства, составляющими которого

являются: метод построения дерева отказов для комбикормового производства, метод оценки индивидуального риска, метод построения зон риска в зависимости от избыточного давления на фронте воздушной ударной волны, которая образуется в результате взрыва в системе аспирации.

Практическая значимость данной работы заключается в том, что ее результаты могут быть использованы для проведения аудита пожарной и техногенной безопасности на комбикормовых предприятиях, что является актуальным в условиях реформирования Государственной службы Украины по чрезвычайным ситуациям и внедрение риск-ориентированного подхода в практическую деятельность надзорных органов.

***Ключевые слова:*** поле индивидуального риска, комбикормовое производство, источник отказов, пожарная и техногенная безопасность.

## MODELING FIELD OF INDIVIDUAL RISK ON FEED PRODUCTION

O. Sobol, V. Tutunik, O. Lyashevskaya, V. Sobol,

***Summary***

The purpose of the given work is development of a method of construction of a field of individual risk on objects feed production or revealing areas of probable defeat of people, the analysis of probable factors of occurrence of failure and comparison of levels of risks with allowable.

In work methods of construction and the analysis of trees of malfunctions are used, methods of an estimation of individual risk for the person to be lost as a result of dangerous event, methods of interpolation of function of two variables.

Authors execute construction of a tree of refusals for the analysis of dangers feed production. Probabilities of primary refusals to which concern are received: infringement of the safety precautions, hit of decaying particles on the equipment, sparks from welding works, a source of ignition from hit of decaying particles, formation{education} of a dust in dust mine, formation of a dust in sedimentary chambers. It has allowed to determine probability of occurrence of dangerous event (explosion in system aspiration) and to calculate individual risk for the person to receive damages (to be lost) owing to failure. Construction of a field of risk is carried out by the example of Open Company «Krasnoarmeysky feed manufactures», that has allowed to lead comparison of risk levels with allowable.

Scientific novelty of the given work consists in development of a method of construction of a field of individual risk for an objective estimation of potential danger on objects feed production which components are: a method of construction of a tree of refusals for feedproduction, a method of an estimation of individual risk, a method of construction of zones of risk depending on superfluous pressure at the front an air shock wave which is formed as a result of explosion in system aspiration.

The practical importance of the given work consists that its results can be used for carrying out of audit fire and man-caused safety on feed the enterprises that the risk - guided of the approach in practical activities of supervising bodies is actual in conditions of reforming of Public service of Ukraine on extreme situations and introduction.

***Key words:*** field of individual risk, feed manufacture, a tree of refusals, fire and man-caused safety.

**УДК 614.843(075.32)** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-62**

# ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ БЕЗПЕКИ БОМБОСХОВИЩ

**Мартин Є. В., д. т. н.,** **https://orcid.org/0000-0001-9095-7057**
*Львівський державний університет безпеки життєдіяльності,*
**Лясковська С. Є., к. т. н.** **https://orcid.org/0000-0002-0822-0951**
**Тарапата Н. В.** **https://orcid.org/0000-0003-4508-313X**
*Національний університет «Львівська політехніка»*
Тел. (096) 573 41 61

***Анотація*** - стрімке зростання кількості атомних електростанцій, хімічно небезпечних, вибухонебезпечних підприємств та зброї масового ураження призводить до порушення екології зовнішнього середовища, саме тому пріоритетним завданням постає створення безпечних умов для захисту населення у разі виникнення надзвичайних ситуацій. На першому місці має бути можливість переховування населення у спеціальних захисних спорудах, які відповідають необхідним умовами для тимчасового або довготривалого їх перебування. Потреба в захисних спорудах визначається за сукупності властивостей, які необхідні для захисту та проживання населення. Бомбосховище має відповідати усім стандартам перевірки, а також має бути сертифікованим, виходячи з необхідності укриття всіх робітників та службовців за місцем їх роботи чи за місцем проживання, усього непрацюючого населення — за місцем проживання, а також забезпечення укриття населення категорійованих міст у місцях можливого скупчення людей при евакуації і захисті формувань підрозділів служб надзвичайних ситуацій під час ведення рятувальних робіт. Також, бомбосховища повинні мати раціональне розміщення всіх об'єктів у приміщеннях.

У даній роботі розглянуто проблеми облаштування бомбосховищ під час надзвичайних ситуацій, а також проведено аналіз захисту людей від уражаючих факторів зброї масового ураження, та від наслідків стихійних лих. На основі попередньо заданих даних наведено приклад та описано роботу розробленого програмного забезпечення, яке оцінює стан безпеки бомбосховища, а також аналізує ймовірність того, чи вдасться врятувати усіх присутніх у бомбосховищі людей.

За результатами аналізу можна зробити висновок, які умови варто покращити при облаштуванні бомбосховища, аби вберегти життя якомога більшості громадянам, та забезпечити їх комфортними умовами тимчасового перебування. Розроблене нами програмне забезпечення суттєво полегшить витрату сил, а також засобів на розрахунки параметрів безпеки такого виду укриттів.

***Ключові слова:*** програмне забезпечення, пожежна безпека бомбосховища, аналіз надзвичайних ситуацій у бомбосховищі.

© Мартин Є. В., Лясковська С. Є., Тарапата Н. В.

**Аналіз останніх досліджень** свідчить про те, що можна створити бомбосховище максимально безпечним під час екстренної ситуації, якщо всі основні елементи техніки безпеки закладені на етапі планування та проектування, дотримані з повними відповідностями до нормативних документів [1]. Абсолютно безпечним бомбосховище бути не може, проте реально зменшити ризики виникнення технічних труднощів, якщо дотримуватись всіх правил при їх створенні та облаштуванні.

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується стаття.* Укриття населення в захисних спорудах є надійним способом захисту від уражаючих факторів ядерної, хімічної, бактеріологічної, звичайної зброї, у разі аварій і деяких стихійних лих (ураганів, снігових заносів). Головною проблемою даної споруди є правильність виконання та дотримання всіх норм, які б в свою чергу забезпечували її функціональність як і на короткий, так і на довготривалий термін проживання людей. Тому і досі є актуальним питання аналізу та оцінки бомбосховища, використовуючи інформаційні технології та спеціальне програмне забезпечення [4, 5]. Завдяки сукупності даних та точності плану будівлі можна зробити висновок щодо використання спеціального програмного забезпечення, яке може дати оцінку життєдіяльності та за всіма стандартами виконання.

**Формування цілей статті.** Розроблення програмного забезпечення для аналізу та оцінки функціональності бомбосховищ.

**Основна частина.** Сховища, які знаходяться в зонах можливого виникнення масових пожеж і в зонах ураження хімічно небезпечних речовин, забезпечують також захист укритих людей від високих температур, отруєння продуктами горіння і ураження таких хімічно небезпечних речовин [6]. У всіх бомбосховищах повинна бути наявна медична аптечка з найбільш необхідними лікарськими засобами. У великих сховищах цивільного захисту населення повинні бути обладнані медичні пункти польового типу. Під час надзвичайної ситуації, станції швидкої та невідкладної медичної допомоги зобов'язані діяти відповідно до вимог надзвичайного стану, визначених чинним Законодавством України.

З метою швидкого заповнення сховища маршрути руху до нього позначаються покажчиками, на яких вказується: сховище (протирадіаційне укриття – далі ПРУ) № 54, відстань до нього і стрілка, яка вказує напрям руху. У нічний час написи, покажчики і входи повинні бути освітлені або дубльовані світловими покажчиками. Підходи до сховища повинні постійно бути розчищені. Порядок заповнення сховища (укриття) населенням і його розміщення визначаються завчасно.

Сховища повинні забезпечувати можливість безперервного перебування в них укритих людей протягом двох діб. Результативність виконання відповідних робіт стала основою нашої розробки пропонованої програми. Програма на основі всіх введених користувачем налаштувань проводить повний аналіз та оцінку життєдіяльності та розраховує час перебування людей.

Під час виконання роботи було вибрано таку мову програмування як Java, так як на даний момент вона є однією із трійки лідерів на ринку [7].

Java є високофункціональною мовою програмування з принципом об'єктно орієнтованого програмування (ООП). Саме цей метод чудово підходить нам у виконанні додатку, так як проект, ймовірно, побудований в сукупності класів та об'єктів. ООП складається з чотирьох принципів: інкапсуляція, успадкування, поліморфізм та абстракція. Одною з переваг ООП є краща модульність програмного забезпечення (тисячу функцій процедурної мови в ООП можна замінити кількома десятками класів із своїми методами).

За допомогою класів та об'єктів можна досягнути набагато більшої структурованості програми, яка при розробці потужних систем буде дозволяти в межах кількох кліків знайти необхідний клас чи метод.

Принцип наслідування, який є складовою ООП, дозволяє використовувати код з своїми варіантами класів, при цьому, не ламає логіку проекту. Строга типізація мови є хорошим плюсом для розробки даної програми. Саме це дасть змогу уникнути більшості помилок, які будуть виникати під час роботи.

Важливим чинником, стала можливість виконання нашої програми на будь-якій платформі, для якої є написана java-машина.

Вона дозволяє інтерпретувати байт-код програми в машинний код конкретного пристрою, завдяки чому, написавши програму для одного середовища, вона працюватиме подібного.

Для розробки програми, був використаний редактор і компілятор Intellij IDEA, який є кращим серед подібних додатків для створення програмного забезпечення (рис. 1).

Враховуючи всі фактори надзвичайних ситуацій, слід розуміти принцип та потреби даного програмного забезпечення, тому програма "*БЕЗПЕКА БОМБОСХОВИЩ*", має задовольняти наступного роду критерям:

1. Простота використання:
    - Зручний та логічний інтерфейс;
    - Чудова швидкість обробки даних програми;

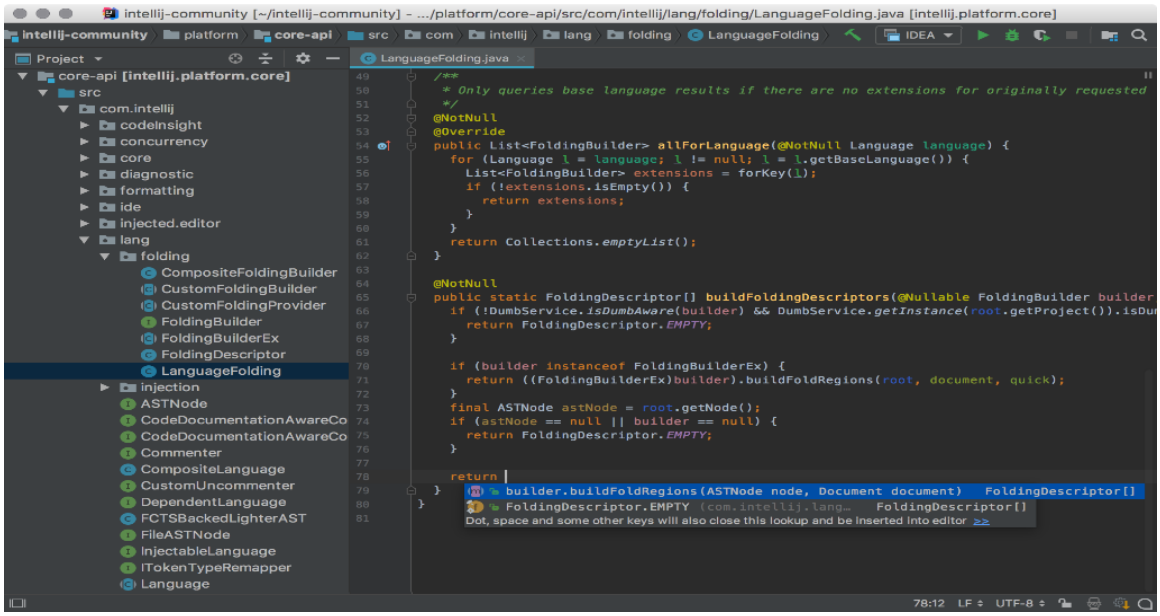



Рис.1 Інтерфейс Intellij IDEA

2. Оновлення та повна підтримка:
   - оновлення програми та постійне оновлення бази даних;
   - повна підтримка та зворотній зв’язок з вказаними персонами;
3. Мультиплатформеність. Під терміном “Мультиплатформеність” йде мова про стабільну роботу програми – емулятора на інших платформах або операційний системах. Графічне оформлення програми можна змінювати відповідно від інтерфейсу операційної системи, проте функціонал залишається незмінним.
4. Доступність та надійність.
5. Надійний рівень шифрування та захисту даних користувача. Так як дана програма є повністю безкоштовною та не комерційною, то нею можуть користуватись будь-хто. Тому проблема захисту та шифрування даних тут відсутня. Проте програма – емулятор “БЕЗПЕКА БОМБОСХОВИЩ” має спеціальний захист від змінення або втручання в програмний код.
6. Програмне забезпечення повинне систематично оновлюватись, щоб покращити свою зручність для користувача та виправити можливі помилки при роботі. Разом з цим розширення функціоналу та матеріальної бази може спростити навчальний процес та зробити його більш інтерактивним.

Інтерфейс та функціональність програми мають бути інтуїтивно зрозумілі та зручні для користувача. Для написання програми використовувався наступний алгоритм дій:

1. Для розробки програми було використано середовище Intelleij IDEA, тому відкриваємо середовище (подвійний клік лівою клавішею миші по ярлику).

2. Після цього йде створення класів та пакетів для логічного об’єднання ряду змінних та полів. В вкладці “File” потрібно обрати “створити новий пакет” та задати йому відповідну назву. З класами робимо аналогічну процедуру.
3. Наступний кроком після цього є написання коду, в якому будуть використані алгоритми та методи. Методи дозволяють нам винести написану частинку коду програми окремо від іншого; поміщаємо його в тіло методу. Після цієї процедури даний метод можна викликати з будь – якого місця програми.
4. Після написання коду нам потрібно врахувати можливість зберігання даних і параметрів. Тобто на завершення слід підключити базу даних для зберігання даних, які користувач вводить в поля параметрів. Для того, щоб зберегти дані, використовують різні бази даних - Oracle, MS SQL Server, MySQL, Postgres тощо. Кожна з цих систем баз даних використовує мову SQL, але має свої особливості, внутрішню будову та синтаксис.

Після того, як програма запустилась, в першу чергу потрібно обрати план бомбосховища. Для цього необхідно натиснути кнопку «Choose plan» та обрати у кореневій папці потрібний файл. Відповідно до плану будівлі, якою є укриття, ми маємо заповнити пусті комірки певними значеннями.

На рис. 2 зображений фрагмент інтерфейсу програми у вигляді скріншоту. Тут бомбосховище відповідає всіма стандартам та нормам, тому воно повністю безпечне для проживання та сховища в надзвичайних ситуаціях.

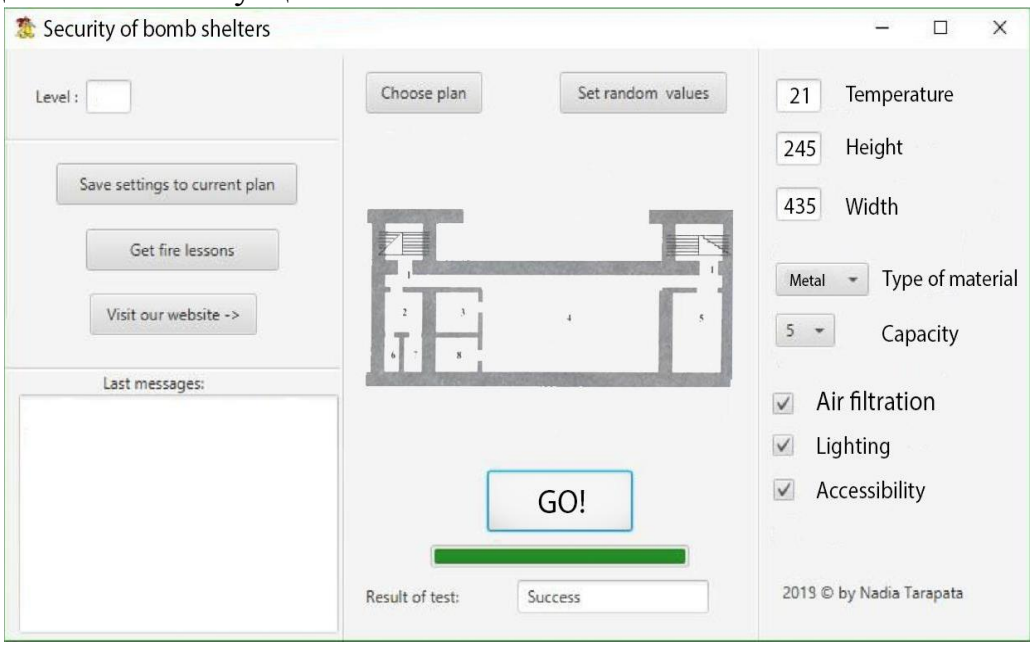



Рис.2 Інтерфейс програми “Security of bomb shelders”

В разі невідповідності умов програма видає негативний результат (рис.3).

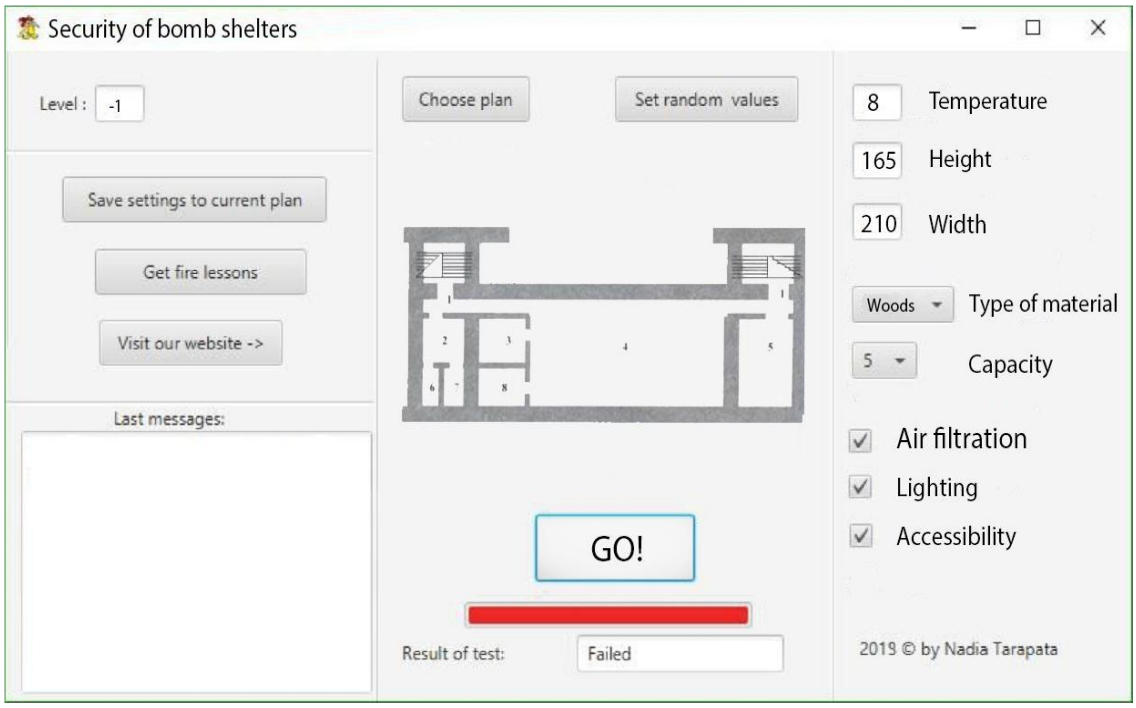



Рис.3 “Security of bomb shelders” - негативний результат

В програмі закладено різноманітність комбінацій параметрів, тому алгоритм підбирає найоптимальніший серед заданих даних. Похибка або відмінність мізерна, тому програма працює функціонально та коректно.

**Висновки.** В ході розробки встановлено, що програма дозволяє виконувати аналіз безпечності бомбосховища по заданих параметрах. Щоб правильно оцінити ризики безпечності, потрібно знати та правильно ввести всі необхідні дані, які вказані у програмі. Результатом даної роботи є те, щоб користувач міг завжди перевірити надійність певного бомбосховища та оцінити свої шанси на виживання у випадках надзвичайних ситуацій. Розроблене програмне забезпечення дозволяє досягнути мінімального рівня ризику, оскільки досягти нульового рівня ризику, тобто абсолютної безпеки, сьогодні неможливо.

**Список використаних джерел**

1. Як діяти населенню в разі виникнення надзвичайних ситуацій? http://chmr.gov.ua/ua/newsread.php?view=8782&s=1&s1=17

2. Державні будівельні норми України. [Електронний ресурс] - Доступний з kbu.org.ua/assets/app/documents/dbn2/14.1.%20ДБН%20360-

92~~.%20%20%20%20%20%20Містобудування.%20Планування%20і%20за.pdf

3. Ресурс про бомбосховище [Електронний ресурс] - Доступний з https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BE%D0%BC%D0%B1%D0%BE%D1%81%D1%85%D0%BE%D0%B2%D0%B8%D1%89%D0%B5

4. Мови програмування [Електронний ресурс] - Доступний з http://kamzosh.at.ua/publ/2-1-0-6

5. *Васильев А. П.* Java с примерами и программами // А. П. Васильев. М.: 2017.- 368 с.

6. Попередження надзвичайних ситуацій / Під редакцією генерал-лейтенанта В. Ф. Гречанінова. К., 2007.

7. *Тарапата Н. В.* Розробка програмного забезпечення для аналізу пожежних ситуацій / Тарапата Н. В., Є. В. Мартин // Зб.наук.пр. XIV Міжн. наук.-практ. конф. молодих вчених, курсантів та студентів. Львів: ЛДУ БЖД, 2019.

## ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДЛЯ АНАЛИЗА БЕЗОПАСНОСТИ БОМБОУБЕЖИЩ

Мартин Е. В., Лясковская С. Е., Тарапата Н. В.

### *Аннотация*

Стремительный рост количества атомных электростанций, химически опасных, взрывоопасных предприятий и оружия массового поражения приводит к нарушению экологии окружающей среды, поэтому приоритетной задачей стоит создание безопасных условий для защиты населения в случае возникновения чрезвычайных ситуаций. На первом месте должна быть возможность укрытия населения в специальных защитных сооружениях, которые соответствуют необходимым условиям для временного или длительного их пребывания. Потребность в защитных сооружениях определяется по совокупности свойств, которые необходимы для защиты и проживания населения.

Бомбоубежище должно соответствовать всем стандартам проверки, а также должно быть сертифицированным, исходя из необходимости укрытия всех рабочих и служащих по месту их работы или по месту жительства, всего неработающего населения - по месту жительства, а также обеспечение укрытия населения категорийованих городов в местах возможного скопления людей при эвакуации и защите формирований подразделений ГО и ЧС при ведении спасательных работ. Также, бомбоубежища должны иметь рациональное размещение всех объектов в помещениях.

В данной работе рассмотрены проблемы обустройства бомбоубежищ во время чрезвычайных ситуаций, а также проведен анализ защиты людей от поражающих факторов оружия массового поражения, и от последствий стихийных бедствий. На основе предварительно заданных данных приведен пример и описана работа разработанного программного обеспечения, для оценки состояния безопасности бомбоубежища, а также анализа вероятности того, удастся ли спасти всех присутствующих в бомбоубежище людей. По результатам

анализа можно сделать вывод, какие условия следует улучшить при обустройстве бомбоубежища, чтобы уберечь жизни можно большинства граждан, и обеспечить их комфортными условиями временного пребывания. Разработанное нами программное обеспечение существенно облегчит расход сил, а также средств на расчеты параметров безопасности такого вида укрытий.

***Ключевые слова:*** программное обеспечение, пожарная безопасность бомбоубежища, анализ чрезвычайных ситуаций в бомбоубежище.

## EMULATOR OF ANALYSIS OF BOMBSHELTERS

E. Martyn, S. Ljaskovska, N. Tarapata

### *Summary*

Prompt growth of quantity of the atomic power stations chemically dangerous, the explosive enterprises and the weapon of mass defeat results in infringement of ecology of an environment, therefore the priority problem costs creation of safe conditions for protection of the population in case of occurrence of extreme situations. On the first place there should be an opportunity of shelter of the population in special protective constructions which meet to necessary conditions for time or their long stay. The need for protective constructions is defined on set of properties which are necessary for protection and residing of the population.

The bombproof shelter should meet to all standards of check, and also should be certificated, proceeding from necessity of shelter of all workers and employees in a place of their work or on a residence, all idle population - on a residence, and also maintenance of shelter of the population of cities in places of a possible congestion of people at evacuation and protection of formations of divisions GO and Extreme situations at conducting salvage operations. Also, bombproof shelters should have rational accommodation of all objects in premises.

In the course of development, the program allows to perform security analysis of the bomb shelter according to the specified parameters. In order to properly evaluate the security risks, you need to know and enter correctly all the necessary information that is specified in the program. The result of this work is that the user can always check the reliability of a given bomb shelter and assess their chances of survival in emergencies. The developed software allows to reach the minimum level of risk, since it is impossible to reach zero level of risk, ie absolute safety, today.

**Key words:** rational accommodation of the equipment, fire safety of a bombproof shelter, the analysis of extreme situations in a bombproof shelter, the software.

**УДК 514.182.7:519.651** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-63**

# АЛГОРИТМ ЗГУЩЕННЯ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНИХ КРИВИХ НА ОСНОВІ ТОТОЖНОСТЕЙ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯМ ВІДСУТНОСТІ ОСЦИЛЯЦІЇ

**Щербина В. М., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-0616-8010**
**Пихтєєва І. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-7484-1759**
**Бондаренко Л. Ю., к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0001-5858-7375**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. (0619) 42-24-36

***Анотація*** **–** інтерполяція (згущення) дискретно представлених кривих (ДПК) надає можливість більш точного уяснення динаміки протекання того, чи іншого процесу, та пов'язана із визначенням оптимальних або необхідних результатів дослідженнь. Відомо, що одним, більш розвиненим, напрямком розвитку методів згущення дискретно представлених кривих (ДПК) є згущення на основі тотожностей. У даній роботі розглядається вплив формули згущення на основі базисного 3-полінома на різницеву схему, отриману на основі тотожностей згущення. Визначається, що властивість цього впливу використовується у алгоритмі методу згущення на основі тотожностей з урахуванням корекції в області розв'язку. Також, в роботі, визначається, що запропонована різницева схема дає можливість корекції розв'язку і отримання не осцилюючого однозначного ряду довільної конфігурації.

***Ключові*** **слова:** 2-поліном, базисний 3-поліном, різницева схема, тотожність згущення.

**Постановка проблеми. Метод згущення ДПК на основі тотожностей використовується у багатьох випадках вирішення задач, пов'язаних із застосуванням методики згущення експериментально отриманих точкових рядів, як результатів досліджень, і, на наш погляд, є найбільш розвиненим методом інтерполяції. Однак, застосування пропонованого методу, не дозволяє, в повній мірі, врахувати всі аспекти.**

**Аналіз останніх досліджень.** На рисунку 1 представлено схему визначення залежностей між кутовими та лінійними параметрами згущення.

В даному випадку основну тотожність можна записати у вигляді:

$$\delta_{0,5}^{1} + 2\delta_{1}^{1} + \delta_{1,5}^{1} = \delta_{1}^{0},$$

або, у загальному вигляді:

$$\delta_{i-0,5}^{1} + 2\delta_{i}^{1} + \delta_{i+0,5}^{1} = \delta_{i}^{0}. \qquad i = \overline{1;n-1} \qquad (1)$$

© Щербина В. М., Пихтєєва І. В., Бондаренко Л. Ю.

Одним з них є спосіб згущення на основі тотожності (1) для рівномірної сітки [1].

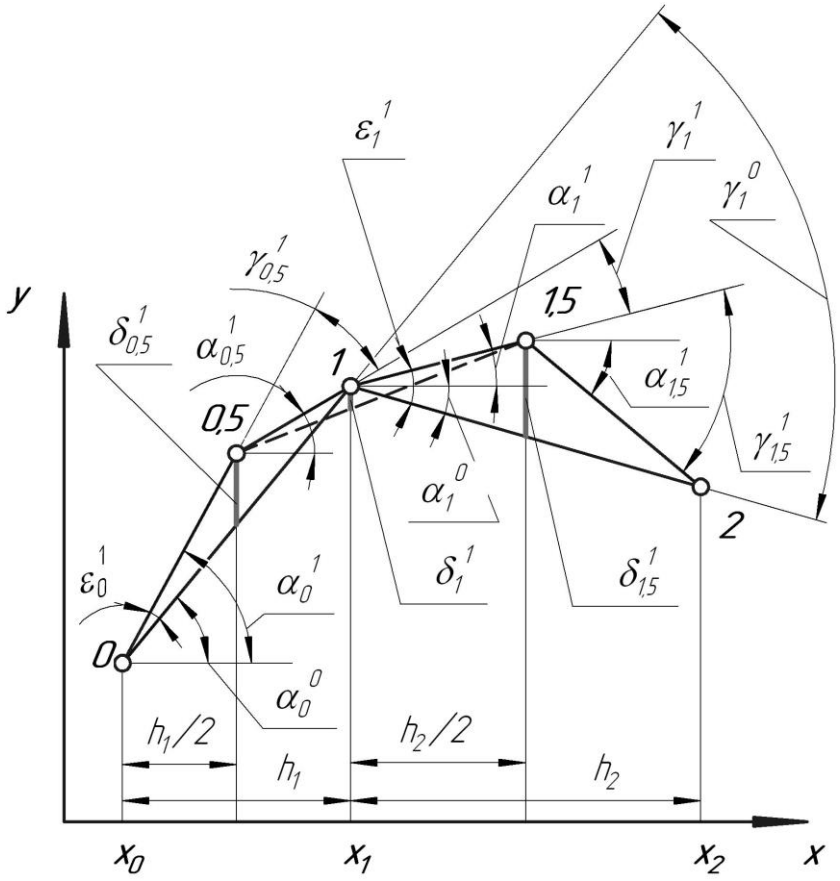



Рисунок 1 – Визначення залежностей між кутовими та лінійними параметрами згущення для ДПК, представленій на нерівномірний сітці

Привабливість такого способу визначається тим, що на співвідношення між значеннями $\delta^1$ можна накласти різні умови. Найбільш відомими є спосіб $\delta^1_{min}$, або $\delta^1_{cp}$, а наявність рівномірної сітки значно спрощує розрахункові алгоритми. Ці способи дають можливість детермінованого розрахунку точок згущення й не орієнтовані на коректування рішення.

У рамках дискретно-параметричного методу, запропонованого Верещагою В.М. [2] основою є вибір рішення і його корекція в напрямку досягнення заданих вимог. Однак, такий підхід до вирішення поставлених завдань не взмозі надати найбільш достовірні результати, оскільки можливості коректування рішення досить обмежені.

**Формулювання цілей статті.** Для усунення зазначених недоліків необхідно розглянути інші можливості методу згущення на основі тотожностей. Результати досліджень, викладені в цій роботі направлені на встановлення зв'язку різницевої схеми, отриманої на основі тотожностей згущення, із формулою згущення на основі базисного 3-полінома та виявлення властивостей цього зв'язку.

**Основна частина.**

Для довільної $i-$ тої точки згущуваного дискретного ряду основна тотожність згущення має вигляд (1). При цьому

$$\delta^1_{i-0,5} = y_{i-1} - 2y_{i-0,5} + y_i, \ldots, \qquad \delta^0_i = y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}$$

Виходячи з цього, поліном другого порядку має наступну властивість:

$$y_{i-0,5} - 2y_i + y_{i+0,5} = \delta^1_i = const, \tag{2}$$

Враховуючи (1), умова $\delta^1_i = const$ обумовлює наступну залежність:

$$\delta^1_{i-0,5} = \delta^1_i = \delta^1_{i+0,5} = \frac{1}{4}\delta^0_i, \tag{3}$$

це означає, що умова (3) формує у вузлах згущеної ДПК нову різницю, що відповідає 2-поліному.

Виконання тотожності для 3-полінома обумовлює виникнення наступної системи рівнянь:

$$-\begin{cases} \delta^1_{i-0,5} - \delta^1_i = a, \\ \underline{\delta^1_i - \delta^1_{i+0,5} = a,} \end{cases} \tag{4}$$

$$\delta^1_{i-0,5} - 2\delta^1_i + \delta^1_{i+0,5} = 0, \tag{5}$$

де $a-$деякий параметр.

При згущенні в околі вузлової точки рівняння 3-полінома, сумісно з основною тотожністю згущення, має вигляд:

$$\begin{cases} \delta^1_{i-0,5} - 2\delta^1_i + \delta^1_{i+0,5} = 0, \\ \delta^1_{i-0,5} + 2\delta^1_i + \delta^1_{i+0,5} = \delta^0_i. \end{cases}$$

Виходячи з цього, різницева схема для рівномірної сітки приймає вигляд:

$$\delta^1_{i-0,5} + \delta^1_{i+0,5} = \frac{1}{2}\delta^0_i, \tag{6}$$

та відображує формування шуканого згущення за допомогою 3-полінома.

Зі згущення на основі базисного 3-полінома [3] маємо:

$$\delta^1_{i+0,5} = \frac{\delta^0_i + \delta^0_{i+1}}{8} \tag{7}$$

Враховуючи, що $\delta^1_{i-0,5} = \frac{\delta^0_{i-1} + \delta^0_i}{8}$, на основі (6) і (7) маємо:

$$\delta^1_{i-0,5} + \delta^1_{i+0,5} = \frac{1}{8}\left(\delta^0_{i-1} + 2\delta^0_i + \delta^0_{i+1}\right) = \frac{\delta^{-1}_i}{8}; \tag{8}$$

де $\delta^{-1}_i = \delta^0_{i-1} + 2\delta^0_i + \delta^0_{i+1}$ - друга різниця (апріорна інформація) в припущенні, що апріорно була задана ДПК $y_{i-2}$, $y_i$, $y_{i+2}$ (через одну точку), а решта точок $\ldots y_{i-1}$, $y_{i+1} \ldots$ - побудована в процесі деякого згущення, тобто:

$$\delta^{-1}_i = y_{i-2} - 2y_i + y_{i+2}. \tag{9}$$

Рівняння (8) і (6) будуть збігатися тоді, коли

$$\frac{1}{2}\delta^0_i = \frac{1}{8}\delta^{-1}_i \ . \tag{10}$$

Або

$$4\left(y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}\right) = y_{i-2} - 2y_i + y_{i+2};$$

$$y_{i-2} - 4y_{i-1} + 6y_i - 4y_{i+1} + y_{i+2} = 0. \tag{11}$$

Виходячи із вищезазначеного можна зробити висновок, що згущення за допомогою 3-полінома (див. (7)) і рішення системи (6), коли 5 точок $y_{i-2},\ldots,y_{i+2}$ розташовані на 3-поліномі, дає однакові результати.

Виходячи із аналізу рівняння (6) можна зробити висновок, що точки $y_{i-1}$, $y_{i-0,5}$, $y_i$, $y_{i+0,5}$, $y_{i+1}$ лежать на одному 3-поліномі. А із аналізу рівняння (7) також можна зробити висновок, що точки $y_{i-1}$, $y_i$, $y_{i+0,5}$, $y_{i+1}$, $y_{i+2}$ також лежать на одному 3-поліномі.

Іншого і не слід було очікувати, тому що це різні поліноми.

Саме цю особливість зв'язку різницевої схеми із рівнянням згущення на основі базисного 3-полінома можна застосувати при вирішенні зачач згущення ДПК на основі тотожностей.

**Алгоритм метода згущення на основі тотожностей з урахуванням корекції в області розв'язку.**

Для програмної реалізації запропонованого алгоритму метода згущення на основі тотожностей з урахуванням корекції вихідних результатів усередині області розв'язку слід зазначити, що представлений алготитм декілька відрізняється при завдвнні необхідної кількості точок згущення (парної чи не парної кількості).

Вихідні значення для обох варіантів розрахунку однакові. Це значення $y_i$, $i=\overline{0;n}$, на однорідній сітці з кроком $h$.

**Алгоритм згущення за умови, що кількість заданих точок парна.**

1) Знаходимо $\delta_i^0$ за формулою $\delta_i^0 = y_{i-1} - 2y_i + y_{i+1}$, де $i=\overline{1;n-1}$;

2) Складаємо систему рівнянь за умовами:

$$\delta_{i-0,5}^1 + \delta_{i+0,5}^1 = \frac{1}{2}\delta_1^0 > 0 \quad \text{для } \delta^1 > 0 \text{ (ДПК опукла донизу),}$$

$$\delta_{i-0,5}^1 + \delta_{i+0,5}^1 = \frac{1}{2}\delta_1^0 < 0 \quad \text{для } \delta^1 < 0 \text{ (ДПК опукла вгору);}$$

3) Виражаємо всі $\delta_{i+0,5}^1$, $i=\overline{1;n-1}$, через $\delta_{0,5}^1$.

4) Визначаємо обмеження для вибору $\delta_{0,5}^1$ за формулою:

для $\delta^1 > 0$:

$$\left.\begin{aligned} \delta_{0,5}^1 > max \quad & \left[0; \frac{1}{2}\left(\delta_1^0 - \delta_2^0\right); \frac{1}{2}\left(\delta_1^0 - \delta_2^0 + \delta_3^0 - \delta_4^0\right); \ldots \frac{1}{2}\left(\delta_1^0 - \delta_2^0 + \delta_3^0 - \ldots - \delta_{n-2}^0\right)\right], \\ \delta_{0,5}^1 < min \quad & \left[\frac{1}{2}\delta_1^0; \frac{1}{2}\left(\delta_1^0 - \delta_2^0 + \delta_3^0\right); \ldots \frac{1}{2}\left(\delta_1^0 - \delta_2^0 + \delta_3^0 - \ldots + \delta_{n-1}^0\right)\right], \end{aligned}\right\} \; n - \text{парне}$$

для $\delta^1 < 0$:

$$\left.\begin{array}{l} \delta^1_{0,5} > max\ \left[\frac{1}{2}\delta^0_1;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...+\delta^0_{n-1}\right)\right], \\ \delta^1_{0,5} < min\ \left[0;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2\right);\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-\delta^0_4\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...-\delta^0_{n-2}\right)\right], \end{array}\right\} n-\text{парне}$$

5) Розраховуємо

$$\overline{\delta^1_{0,5}} = \mu\cdot max(\delta^1_{0,5})+(1-\mu)\cdot min(\delta^1_{0,5}),\qquad \mu=\overline{\mu}\in[0;1];$$

6) Розраховуємо всі $\delta^1_{i+0,5}$ через $\overline{\delta^1_{0,5}}$ згідно із залежністю (6);

7) Визначаємо точки згущення за формулою:

$$y_{i+0,5}=\frac{1}{2}\left(y_i+y_{i+1}-\delta^1_{i+0,5}\right),\qquad i=\overline{0;n-1};$$

8) При необхідності подальшого згущення (наступний крок), точки перенумеровуємо й повторюємо всі розрахунки спочатку.

**Алгоритм згущення за умови, що кількість заданих точок непарна.**

В даному випадку пункти 1-3 та 5-8 попереднього алгоритму згущення (коли кількість заданих точок парна) повторюються в повній мірі, а 4 пункт має наступний вигляд.

4) Визначаємо обмеження для вибору $\delta^1_{0,5}$ за формулою:

для $\delta^1>0$:

$$\left.\begin{array}{l} \delta^1_{0,5} > max\ \left[0;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2\right);\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-\delta^0_4\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...-\delta^0_{n-1}\right)\right], \\ \delta^1_{0,5} < min\ \left[\frac{1}{2}\delta^0_1;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...+\delta^0_{n-2}\right)\right]; \end{array}\right\} n-\text{не парне}$$

для $\delta^1<0$:

$$\left.\begin{array}{l} \delta^1_{0,5} > max\ \left[\frac{1}{2}\delta^0_1;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...+\delta^0_{n-2}\right)\right], \\ \delta^1_{0,5} < min\ \left[0;\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2\right);\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-\delta^0_4\right);...\frac{1}{2}\left(\delta^0_1-\delta^0_2+\delta^0_3-...-\delta^0_{n-1}\right)\right]. \end{array}\right\} n-\text{не парне}$$

**Висновок.** На відміну від згущення ДПК на основі базисного 3-поліному різницева схема (6) дає можливість корекції розв'язку і отримання не осцилюючого однозначного ряду довільної конфігурації. Завдяки цьому можна сформувати більш гнучкий алгоритм метода згущення ДПК на основі тотожностей.

## Список використаних джерел

1. *Щербина В. М.* Моделирование спиралеобразных дискретно представленных кривых / Виктор Михайлович Щербина [Текст]: Дис. к.т.н.: 05.01.01 - прикладная геометрии,инженерная графика. Научн. конс. д.т.н. В. М. Найдыш. ТГАТА. Мелитополь, 2002. - 139 с.
2. *Верещага В. М.* Дискретно-параметрический метод геометрического моделирования кривых линий и поверхностей: / Виктор Михайлович Верещага [Текст]: Дисс... д-ра техн. наук: 05.01.01. - Мелитополь, 1996. - 320 с.
3. *Тищенко В. І.* Метод базисних функцій в дискретній інтерполяції / В. І. Тищенко, В. М. Найдиш // Праці/Тавр. держ. агротех. акад.-Вип. 4. Прикладна геометрія та інженерна графіка, Т.22. Мелітополь, ТДАТА, 2003, с. 3-8.

## АЛГОРИТМ СГУЩЕНИЯ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНЫХ КРИВЫХ НА ОСНОВЕ ТОЖДЕСТВ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ ОТСУТСТВИЯ ОСЦИЛЛЯЦИИ

Щербина В.М., Пихтеева И.В., Бондаренко Л.Ю.

***Аннотация***

Интерполяция (сгущение) дискретно представленных кривых (ДПК) дает возможность более точного уяснения динамики протекания того или иного процесса и связана с определением оптимальных или необходимых результатов исследований. Известно, что одним, более развитым, направлением методики сгущения дискретно представленных кривых (ДПК) является сгущение на основе тождеств. В данной работе рассматривается влияние формулы сгущения на основе базисного 3-полинома на разностную схему, полученную на основе тождеств сгущения. Делается акцент на то, что свойство этого влияния используется в алгоритме метода сгущения на основе тождеств с учетом коррекции в области решения. Также, в работе, отмечено, что предложенная разностная схема дает возможность коррекции решения и получение неосциллирующего однозначного ряда произвольной конфигурации.

***Ключевые*** **слова:** 2-полином, базисный 3-полином, разностная схема, тождество сгущения.

# ALGORITHM OF A CONDENSATION OF DISCRETELY SUBMITTED CURVES ON THE BASIS OF IDENTITIES WITH MAINTENANCE OF ABSENCE OSCILLATION

V. Shcherbina, I. Pihteeva, l. Bondarenko

***Summary***

Interpolation (condensation) of discretely submitted curves (DSC) enables more exact explanation of dynamics of course of this or that process and is connected to definition of optimum or necessary results of researches. It is known, that to one, more advanced, a direction of a technique of a condensation of discretely submitted curves (DSC) is the condensation on the basis of identities.

The method of condensation DSC on the basis of identities is used in many cases of the decision of the tasks connected to application of a technique of a condensation of experimentally received dot numbers{lines} as results of researches, and, in our opinion, is the most advanced method of interpolation. However, application of an offered method, does not allow to take into account all aspects, to the full. Proceeding from this, there is a necessity to consider other opportunities of a method of a condensation on the basis of identities.

Proceeding from this there is a necessity of an establishment of connection a difference of the circuit received on the basis of identities of a condensation, with the formula of a condensation on the basis of a basic 3-polynom and revealing of properties of this onnection.

In the given work influence of the formula of a condensation is considered on the basis of a basic 3-polynom on разностную the circuit received on the basis of identities of a condensation. That property of this influence is used in algorithm of a method of a condensation on the basis of identities in view of correction in the field of the decision emphasizes. Also, in work, it is marked, that suggested difference scheme the circuit enables correction of the decision and reception not oscillation unequivocal lines of an any configuration.

Due to this it is possible to generate more flexible algorithm of a method of condensation DSC on the basis of identities.

**Key words:** 2-polynom, a basic 3-polynom, identity of a condensation, difference the circuit.

**УДК 514.182.7** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-64**

# ЗГУЩЕННЯ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ТА ЗАМКНЕНИХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕНИХ КРИВИХ В ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ ІЗ КОРЕКЦІЄЮ ОСЦИЛЮЮЧИХ ДІЛЯНОК

**Мацулевич О. Є., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-5553-709X**
**Вершков О. О., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0001-5137-3235**
**Коломієць С. М., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-4307-0709**
**Щербина В. М., к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0002-0616-8010**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. (0619) 42-24-36

***Анотація*** – інтерполяція спіралеподібних дискретно представлених кривих (ДПК) у декартовій системі координат вимагає використання локальних методів згущення. При цьому спостерігається збільшення числа параметрів, що спричиняє ускладнення обчислювального апарата і зниження точності у зв'язку із неоднозначністю, відносно вісі абсцис. Застосування полярної системи координат для вирішення проблемних задач інтерполяції неоднозначних (спіралеподібних або замкнених ДПК) дозволяє уникнути цих ускладнень. Таким чином, виникає необхідність розробки нових методів згущення неоднозначних ДПК у полярній системі координат за критеріями, що визначають екстремальні співвідношення між відхиленнями.

В роботі пропонується спосіб згущення спіралеподібних та замкнених дискретно представлених кривих із можливістю корекції проблемних (осцілюючих) ділянок.

Використання запропонованих методів полягає у оптимізації параметрів і характеристик процесів, представлених дискретними точковими масивами в полярній системі координат, у підвищенні точності моделювання і скороченні термінів проектування.

***Ключові слова:*** дискретно представлена крива (ДПК), супроводжуюча ламана лінія (СЛЛ), осциляція, опуклість, спіралеподібна ДПК, корекція осцилюючих ділянок.

**Постановка проблеми.** Велика розмаїтість практичних задач дискретного геометричного моделювання пов'язана з наявністю різного роду похибок, якими обтяжені вихідні дані, при цьому число параметрів кривої, що моделюється, в багато разів менше числа заданих точок дискретної множини. Для успішного розв'язання зазначених задач доцільно скористатися статистичними методами, що припускають наявність якого-небудь критерію наближення.

© Мацулевич О. Є., Вершков О. О., Коломієць С. М., Щербина В. М.

Застосування полярної системи координат $(\rho,\varphi)$ при розв'язанні задач дискретної інтерполяції спіралеподібних і замкнених дискретно представлених кривих (ДПК) дозволяє спростити математичний апарат моделювання та уникнути неоднозначності кривих з забезпеченням відсутності осциляції.

При цьому у якості вихідних даних можуть виступати однозначні чи неоднозначні, стосовно осі абсцис, ДПК, задані в декартовій чи полярній системах координат, щодо яких багато питань дискретного геометричного моделювання не розглянуто (критерії наближення, запобігання осциляції, ознаки опуклості і т.д.)

**Аналіз останніх досліджень.**

Попередні публікації [1,4] розглядають перспективні способи та додаткові можливості дискретної інтерполяції, які враховують внутрішню геометрію ДПК у вигляді кутів суміжності та закономірності їх зміни. У роботах [2,3] розглядається згущення точкових рядів та однозначних дискретно представлених кривих на основі кутів суміжності та на основі перевищень точок згущення над хордами вихідної ДПК у декартовій системі координат. Однак розв'язання задач дискретної інтерполяції спіралеподібних та замкнених ДПК зручніше проводити у полярній системі координат у зв'язку з їх неоднозначністю відносно осі ***Ox***, а ці питання не отримали подальшого розвитку.

Також, у попередніх дослідженнях, при розгляданні перспективних способів та додаткових можливостей дискретного моделювання, які враховують внутрішню геометрію ДПК у вигляді кутів суміжності та закономірності їх зміни, поза увагою лишилися питання непередбаченої осциляції ланок ДПК та їхньої корекції.

**Формулювання цілей статті.** Виходячи із вищезазначеного, виникає необхідність розробки нових методів апроксимації неоднозначних ДПК у полярній системі координат за критеріями, що визначають екстремальні співвідношення між відхиленнями, що й обумовлює актуальність поставленої задачі.

**Основна частина.** В роботі пропонується спосіб інтерполяції дискретно представлених кривих (ДПК) із корекцією осцилюючих точок моделюємої кривої, який полягає в наступному:

1. Проводиться перевірка опуклості (відсутність осциляції) спіралеподібної ДПК на основі кутів суміжності ланок супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ).

2. Визначаються осцилюючі точки вздовж всієї супроводжуючої ламаної лінії (СЛЛ).

3. Відкидаються ці осцилюючої точки, а попередні та наступні від них точки СЛЛ, на кожній ланці, поєднуються.

4. Замість відкинутих осцілюючих точок визначаються проміжні точки, які задовольняють вимогам опуклості на конкретній ділянці (рис.1).

Розглянемо фрагмент довільної спіралеподібної ДПК у полярній системі координат (рис. 1). Задача інтерполяції полягає в побудові проміжних точок (визначенні радіусів $\rho_{i+0,5}$ на довільній сітці кутів $\varphi_{i+0,5}$), що задовольняють вимогам опуклості на визначеній ділянці. Розглянемо схему, представлену на рис. 1.

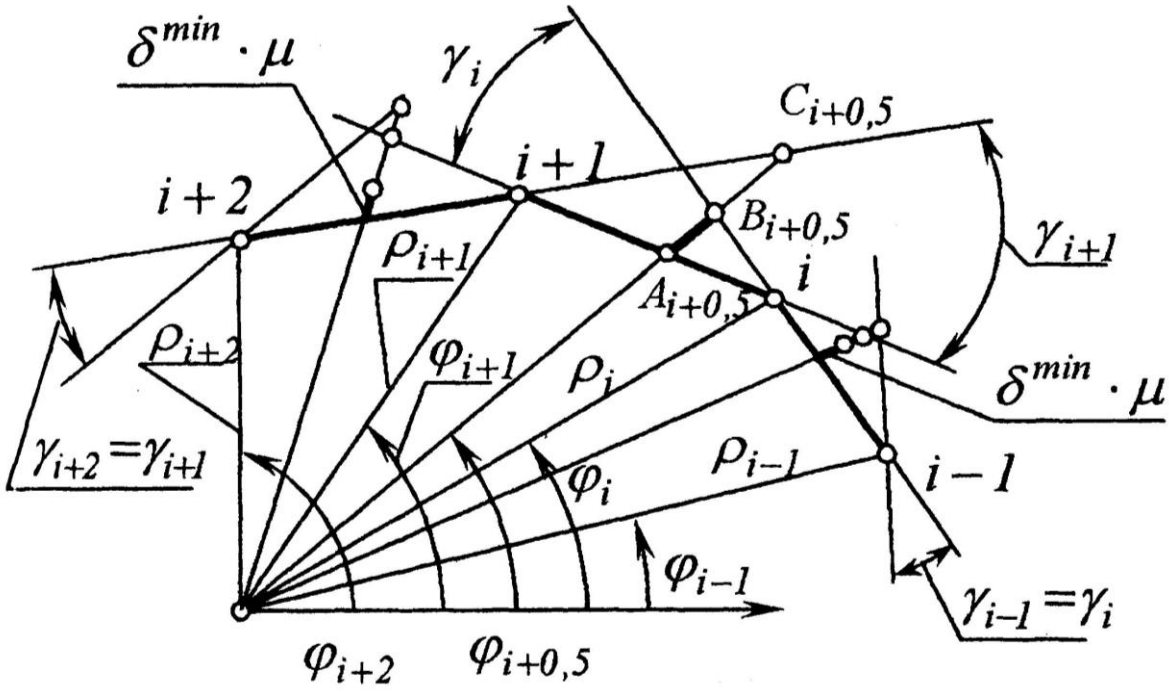



Рисунок 1 – Схема визначення проміжних точок спіралеподібної ДПК в полярній системі координат

Алгоритм визначення $\rho_{i+0,5}$ полягає в наступному:

1. Визначаються значення $\rho_{Ai+0,5}$ за формулою [1]:

$$\rho_{Ai+0,5} = \frac{\rho_i \cdot \rho_{i+`1} \cdot Sin(\varphi_{i+1} - \varphi_i)}{\rho_i \cdot Sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_i) + \rho_{i+`1} \cdot Sin(\varphi_{i+1} - \varphi_{i+0,5})} \quad (1)$$

2. Визначаються значення $\rho_{Bi+0,5}$ за формулою:

$$\rho_{Bi+0,5} = \frac{\rho_i \cdot \rho_{i-1} \cdot Sin(\varphi_i - \varphi_{i-1})}{\rho_{i-1} \cdot Sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_{i-1}) - \rho_{i+`1} \cdot Sin(\varphi_{i+0,5} - \varphi_i)} \quad (2)$$

3. Визначаються значення $\rho_{Ci+0,5}$ за формулою:

$$\rho_{Ci+0,5} = \frac{\rho_{i+1} \cdot \rho_{i+2} \cdot Sin(\varphi_{i+2} - \varphi_{i+1})}{\rho_{i+2} \cdot Sin(\varphi_{i+2} - \varphi_{i+0,5}) - \rho_{i+`1} \cdot Sin(\varphi_{i+1} - \varphi_{i+0,5})} \quad (3)$$

4. Порівнюючи значення $\rho_{Bi+0,5}$ і $\rho_{Ci+0,5}$ знаходиться менше з них (для схеми, яка наведена на рис.1 маємо $\rho_{Bi+0,5} < \rho_{Ci+0,5}$). З метою запобігання виникненню осциляції точку згущення слід вибирати в середині діапазону ($Ai+0,5\ Bi+0,5$) = $\delta i+0,5$.
5. Аналогічно знаходиться діапазони для всіх ланок вихідної ДПК окрім першої і останньої.
6. Вибирається серед цих діапазонів найменший $\delta min$.
7. Визначаються координати точок згущення за формулою:

$$\rho_{i+0,5} = \rho_{Ai+0,5} + \delta^{min} \cdot \mu_i, \quad \mu_i \in [0;1] \qquad i = 0;n\text{-}1 \quad (4)$$

де $\mu_i$ - коефіцієнт повноти обводу [5].

Згідно з наведеним алгоритмом (як видно з рис. 1 та з формул (1-3)) неможливо побудувати точки згущення для першої і останньої ланки вихідної ДПК. Для їх визначення призначимо кут суміжності $\gamma_0$ такий саме, як і $\gamma_1$ а кут суміжності $\gamma_n$ такий саме, як і $\gamma_{n-1}$ (рис.1) після чого, за формулою (4), знаходимо шукані точки згущення.

**Висновки.**

Моделювання спіралеподібних ДПК у полярній системі координат запропонованим способом дозволяє забезпечити

відсутність осциляції розв'язку при моделюванні, значно спростити математичний апарат та здійснювати моделювання як на рівномірній, так і на нерівномірній сітці кутів $\varphi$.

**Список використаних джерел**

1. *Найдиш В. М.* Перспективні способи дискретної інтерполяції / В. М. Найдиш // Тез. доп. Міжнар. наук. - практ. конференції. Донецьк, ДонГТУ. 2000. С. 19-20.

2. *Найдиш В. М.* Згущення однозначних дискретно представлених кривих на основі кутів суміжності. / В. М. Найдиш, В. М. Щербина //Прикл. геом. та інж граф. Пращ ТДАТА, Вип. 4, т. 17. Мелітополь, ТДАТА, 2002. С. 3-7.

3. *Найдиш А. В.* Згущення точкових рядів на основі кутів суміжності. / А. В. Найдиш, В. О. Лебедєв // Прикл. геом. та інж. граф. Пращ ТДАТА, Вип. 4, т. 19. Мелітополь, ТДАТА, 2003. С. 26-31.

4. *Найдиш В. М.* Додаткові можливості дискретної інтерполяції. / В. М. Найдиш // Прикл. геометрія та інж. граф. К. КДТУБА, 2000. Вип. 67. С. 17-22.

5. *Найдиш В. М.* Локальне згущення ДПК довільної конфігурації. /В. М. Найдиш, А. В. Найдиш // Геом. та комп. моделювання. Пращ ХДУХТ, Вип. 9. Харків, ХДУХТ, 2005. С. 73-81.

6. *Найдиш А. В.* Завдання спіралеподібних ДПК у полярній системі координат. / А. В. Найдиш, О. Є. Мацулевич // Прикл. геом. та інж. граф. Праці ТДАТА, Вип. 4, т. 17. Мелггополь, ТДАТА, 2002. С. 18-22.

7. *Мирдавидов М. М.* Вопросы конструирования выпуклых замкнутых кривых в дискретной форме / М. М. Мирдавидов. // Прикл. геометрія та інж. граф. -К КИСИ, 1980.- Вип. 32, с. 34-36.

## СГУЩЕНИЕ СПИРАЛЕВИДНЫХ И ЗАМКНУТЫХ ДИСКРЕТНО ПРЕДСТАВЛЕННЫХ КРИВЫХ В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ С КОРРЕКЦИЕЙ ОСЦИЛЛИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЕВ

Мацулевич А.Е., Вершков А.А., Коломиец С.М. Щербина В.М.,

***Аннотация***

Интерполяция спиралевидных дискретно представленных кривых (ДПК) в декартовой системе координат требует использования локальных методов сгущения. При этом наблюдается увеличение числа параметров, вызывает осложнения вычислительного аппарата и снижение точности в связи с

неоднозначностью относительно оси абсцис. Применение полярной системы координат для решения проблемных задач интерполяции неоднозначных (спиралевидных или замкнутых ДПК) позволяет избежать этих осложнений. Таким образом, возникает необходимость разработки новых методов сгущения неоднозначных ДПК в полярной системе координат по критериям, определяющим экстремальные соотношение между отклонениями

В работе предлагается способ сгущения спиралевидных и замкнутых дискретно представленных кривых с возможностью коррекции проблемных (осциллюющих) участков.

Использование предложенных методов заключается в оптимизации параметров и характеристик процессов, представленных дискретными точечными массивами в полярной системе координат, в повышении точности моделирования и сокращении сроков проектирования.

***Ключевые слова:*** дискретно представленная кривая, сопровождающая ломанная линия, осцилляция, выпуклость, спиралеподобная дискретно представленная кривая, коррекция осциллирующих участков.

## CONDENSATION HELICOID AND CLOSED DISCRETELY SUBMITTED CURVES IN POLAR SYSTEM OF COORDINATES WITH CORRECTION OSCILLATION PARTS

A. Matsulevych, A. Vershcov, S. Kolomijets, V. Shcherbina

### *Summary*

The big variety of practical tasks of discrete geometrical modelling is connected to presence of a different sort of mistakes by which the initial data are made heavier. Thus, number of parameters of a curve which is modelled, many times less numbers of the set points of discrete set.

Interpolation of helicoid discretely submitted curves (DSC) in the cartesian system of coordinates demands use of local methods of a condensation. Thus the increase in number of parameters is observed, causes complications of the computing device and decrease in accuracy in connection with ambiguity concerning an axis абсцис. Application of polar system of coordinates for the decision of problem tasks of interpolation ambiguous (helicoid or closed DSC) allows to avoid these complications.

But, if, as the initial data to use unequivocal or ambiguous, concerning an axis OX, DSC, set in the cartesian or polar systems of coordinates there are many questions of discrete geometrical modelling which, in this case, are not considered. It concerns questions of definition of criteria of approximation, and prevention oscillation.

Thus, there is a necessity of development of new methods of a condensation ambiguous DSC in polar system of coordinates by the criteria determining extreme ratio between rejections.

In work the way of a condensation of the helicoid and closed discretely submitted curves with an opportunity of correction problem (oscillation) sites is offered. Use of the suggested methods consists in optimization of parameters and characteristics of the processes submitted by discrete dot files in polar system of coordinates, in increase of accuracy of modelling and reduction of terms of designing.

**Key words:** discretely submitted curve (DSC), accompanying line (AL), oscillation, camber, spiral DSC, correction oscillation sites.

**УДК 514.18** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-65**

# МЕТОДИКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПОВЕРХОНЬ

**Гавриленко Є. А., к.т.н.,** **http://orcid.org/0000-0003-4501-445X**
**Івженко О. В., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0003-1559-3825**
**Пихтєєва І. В., к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0001-7484-1759**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. (0619) 42-24-36

***Анотація*** – комп'ютерне моделювання динамічних поверхонь стає головною вимогою при створенні автоматизованих систем проектування вузлів та агрегатів сільськогосподарсьеої техніки. Особливо це стосується каналових поверхонь двигунів внутрішнього згоряння.

В роботі пропонується методика формування динамічної поверхні в системі Solid Works на прикладі моделі проточної частини каналу, яка задана вихідними даними, що обумовлюють відсутність осциляції обводів.

Динамічні якості такої поверхні визначаються властивостями елементів каркаса, а основним елементом, що зв'язує всі параметри поверхні каналу, є осьова лінія каналу та напрямні лінії каркаса поверхні. Всі вони повинні збігатися з лініями струму середовища, що направляється поверхнею каналу.

Монотонна зміна кривини уздовж осьової лінії каналу забезпечує зниження втрат енергії потоку середовища в каналі, що свідчить про актуальність наведених в роботі досліджень.

***Ключові слова:*** динамічна поверхня, каркас поверхні, напрямна лінія.

**Постановка проблеми.** Забезпечення автоматизації процесів проектування виробів сільськогосподарського (і не тільки) призначення дозволить у значно скорочені терміни засвоїти випуск конкурентноспроможної продукції.

Системи автоматизованого проектування типових вузлів та агрегатів широко відомі та ефективно використовуються у виробництві. Однак, розробка методів формування складних функціональних поверхонь для створення систем автоматизованого їх проектування ще не отримала достатнього розвитку. Сучасне комп'ютерне та програмне забезпечення дає таку можливість.

**Аналіз останніх досліджень.** Задача проектування каркасів динамічних поверхонь, що обмежують вироби які взаємодіють із середовищем, розглянута в роботі [1]. Для оптимізації інженерно-технічних характеристик поверхні пропонується сполучення ліній каркаса з лініями струму - траєкторіями руху елементарної частки середовища, що рухається по поверхні.

© Гавриленко Є. А., Івженко О. В., Пихтєєва І. В.

Основна умова, що забезпечує динамічні якості поверхні - використання, при формуванні каркаса, кривих з монотонною зміною кривини. В роботі [2] викладена методика конструювання поверхонь, що обмежують впускні та випускні канали двигунів внутрішнього згорання.

Вихідними даними при моделюванні поверхонь проточної частини каналів є:

- форма і площа вхідного та вихідного перетинів;
- положення і форма осі каналу;
- графік площ поперечних перетинів каналу.

У роботі [3] розроблена методика моделювання в системі Solid Works обводів першого порядку гладкості з монотонною зміною кривини дугами кіл.

**Формулювання цілей статті.** Метою статті є розробка методики моделювання внутрішніх динамічних поверхонь у системі Solid Works.

**Основна частина.** Розглянемо формування динамічної поверхні в системі Solid Works на прикладі моделі проточної частини каналу, заданого наступними вихідними даними:

- осьова лінія являє собою плоский обвід з дуг кіл;
- вхідний перетин має форму прямокутника з округленими кутами, вихідний перетин - коло;
- графік зміни площ поперечних перетинів - прямолінійний.

В нашому прикладі каркас формується вхідним, вихідним і трьома проміжними перетинами й двома напрямними лініями.

Динамічні якості поверхні визначаються властивостями елементів каркаса.

Основним елементом, що зв'язує всі параметри поверхні каналу, є осьова лінія. На зниження втрат енергії потоку середовища в каналі сприятливий вплив робить монотонна зміна кривини уздовж осьової лінії. Методика формування осьової лінії наведена в [3].

Головна вимога до проміжних поперечних перерізів - забезпечення плавної зміни форми перетинів від вхідного перетину до вихідного при дотриманні заданого графіка зміни їх площ уздовж осьової лінії. Це завдання вирішене нами з використанням системи Solid Works.

Нагалаємо, що напрямні лінії каркаса повинні збігатися з лініями струму середовища, що направляється поверхнею каналу.

Головна вимога до напрямних ліній - другий порядок гладкості й монотонна зміна значень кривини уздовж лінії.

Методика комп’ютерного моделювання динамічних поверхонь із застосуванням системи Solid Works полягає в наступному:

1. Створюємо площини, перпендикулярні осьовий лінії й минаючі через точки, що відповідають положенню поперечних перетинів.
2. У створені площини копіюємо контури поперечних перетинів. Центри ваги перетинів, розташовуємо на осьовій лінії.
3. Для поліпшення динамічних якостей поверхні каналу формуємо напрямні лінії каркаса поверхні які представляють собою два сплайна, що проходять через однойменні точки перетинів, наприклад через точки перетину поперечних перетинів каркаса меридіональною площиною симетрії поверхні каналу.
4. Відображаємо кривину сплайнів та корегуємо характер зміни значень кривини уздовж сплайнів.
5. В системі SolidWorks формуємо остаточну поверхню каналу за допомогою функції «Поверхня по перетинах».

При цьому у вікні «Профілі», натисканням лівої клавіші миші на відповідному зображенні, послідовно вказуються всі перетини від вхідного до вихідного. У вікні «Напрямні криві» вказуються сформовані сплайни. У міру виділення перетинів, формується зображення поверхні, що створюється, а перетини з'єднуються напрямною ламаною лінією (рис.1).

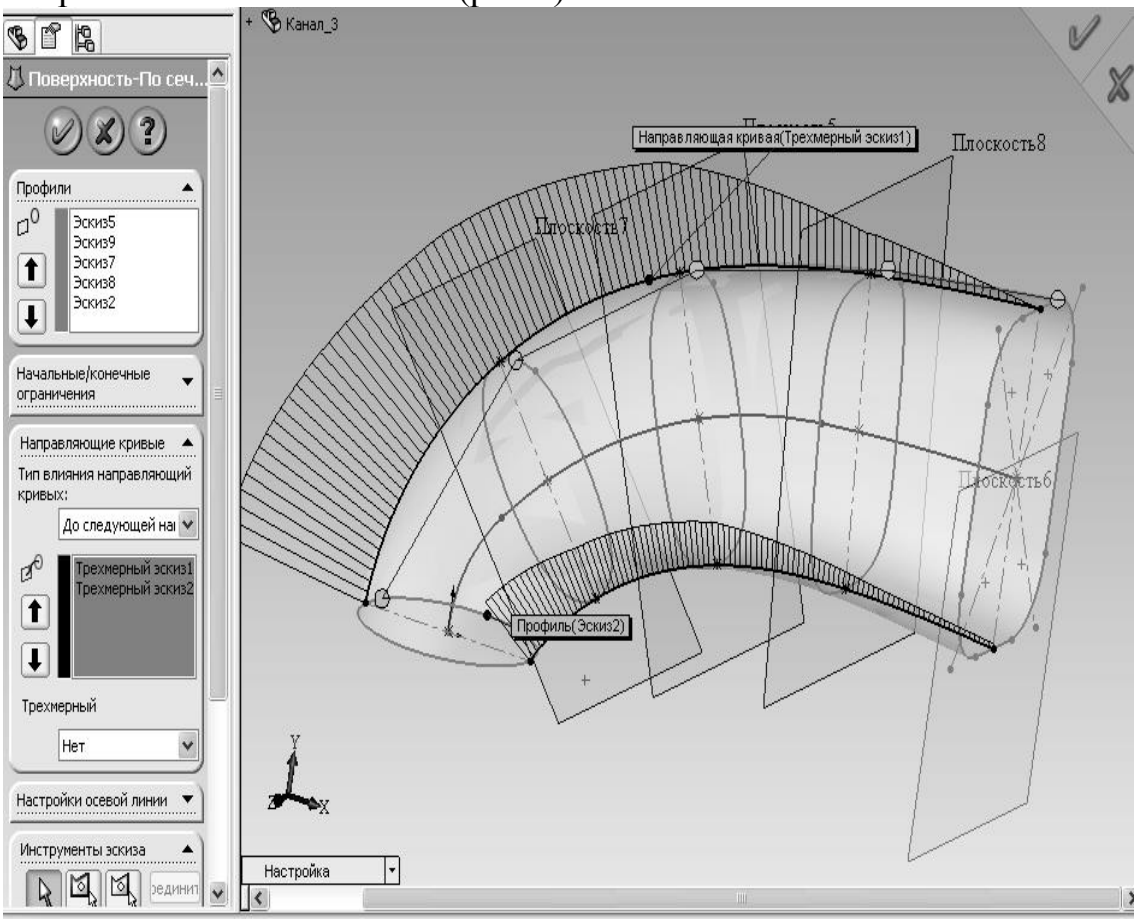



Рис. 1 Формування поверхні каналу в системі Solid Works. На екрані відбитий графік зміни кривини уздовж напрямних кривих.

Чим точніше зазначена ламана лінія апроксимує лінію струму поверхні, тим більше гладким буде обвід, що формується.

Виділяючи перетини каркаса варто прагнути до того, щоб напрямна ламана перетинала перетини в однойменних точках профілів.

***Висновки***. Представлена в роботі методика комп'ютерного моделювання динамічних поверхонь може бути використана при моделюванні не тільки внутрішніх динамічних поверхонь двигунів внутрішнього згоряння, а й динамічних поверхонь вузлів та агрегатів іншого призначення.

**Список використаних джерел**:

1. *Осипов В. А.* Машинные методы проектирования непрерывно-каркасных поверхностей /В. А.Осипов// М.: Машиностроение, 1979. – 248 с.
2. *Обухова В. С.* Конструирование впускных и выпускных каналов двигателей внутреннего сгорания / В. С. Обухова, М. Г. Круглов, Б. Х. Драганов. К.: Вища школа, 1987. – 176 с.
3. *Гавриленко Є. А.* Моделювання плоских обводів у системі Solid Works / Є. А.Гавриленко, В. В.Спірінцев// Інформаційні технології в прикладній геометрії / Праці ТДАТУ. Вип. 5, Т. 2. Мелітополь, 2008. С. 63-66.

## МЕТОДИКА КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Гавриленко Е.А., Ивженко А.В., Пыхтеева И.В.

***Аннотация***

Компьютерное моделирование динамических поверхностей становится главным требованием при создании автоматизированных систем проектирования узлов и агрегатов сельскохозяйственной техники.

Особенно это касается каналовых поверхностей двигателей внутреннего сгорания.

В работе предлагается методика формирования динамической поверхности в системе Solid Works на примере модели проточной части канала, заданной исходными данными, обусловливающими отсутствие осцилляции.

Динамические качества такой поверхности определяются свойствами элементов каркаса, а основным элементом, связывающим все параметры поверхности канала, является осевая линия канала и направляющие линии каркаса поверхности. Все они должны совпадать с линиями тока среды, направляется поверхностью канала.

Монотонное изменение кривизны вдоль осевой линии канала обеспечивает снижение потерь энергии потока среды в канале, что свидетельствует об актуальности приведенных в работе исследований.

***Ключевые слова:*** динамическая поверхность, каркас поверхности, направляющая линия.

## TECHNIQUE OF COMPUTER MODELLING DYNAMIC SURFACES

E. Gavrilenko, A. Ivzhenko, I. Pyhteeva

### *Summary*

Maintenance of automation of processes of designing of products agricultural (and not only) purposes will allow in are considerably reduced terms to acquire release of competitive production.

Systems of the automated designing of typical units and units are widely known and are effectively used in manufacture. However, development of methods of formation of complex functional surfaces for creation of systems automated their designing yet has not received sufficient development.

Modern computer and the software gives such an opportunity.

For optimization engineering - characteristics of a surface it is offered messages of lines of a skeleton with lines of a current - trajectories of movement of an elementary particle of the environment moving on a surface.

The basic condition providing dynamic qualities of a surface - use at formation of a skeleton, curves with monotonous change of curvature.

Computer modelling of dynamic surfaces becomes the main requirement at creation of the automated systems of designing of units and units of agricultural machinery.

Especially it concerns channel surfaces of engines of internal combustion. In work the technique of formation of a dynamic surface in system Solid Works is offered by the example of the model of a flowing part of the channel set by the initial data, causing absence oscillation.

Dynamic qualities of such surface are determined by properties of elements of a skeleton, and a basic element connecting all parameters of a surface of the channel, the axial line of the channel and directing lines of a skeleton of a surface is. All of them should coincide with lines of a current of environment, goes a surface of the channel.

Monotonous change of curvature along an axial line of the channel provides decrease in losses of energy of a stream of environment in the channel that testifies to a urgency of the researches resulted in work.

**Key words:** dynamic surface, a skeleton of the surface, a directing line.

**УДК 514.18** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-66**

# МОДЕЛЮВАННЯ ДІЛЯНКИ ОБВОДУ ІЗ МОНОТОННОЮ ЗМІНОЮ КРИВИНИ

**Гавриленко Є. А., к. т. н.,** **http://orcid.org/0000-0003-4501-445X**
**Холодняк Ю. В., к. т. н.** **http://orcid.org/0000-0001-8966-9269**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. 8(0619) 42-68-62

***Анотація –*** у роботі запропоновано метод моделювання плоских дискретно представлених кривих (ДПК) із закономірною зміною диференціально-геометричних характеристик. Формування кривої за допомогою розробленого методу передбачає проведення попереднього аналізу вихідної ДПК, в результаті якого визначаються діапазони можливих, за умовами задачі, значень диференційно-геометричних характеристик в її точках; призначення конкретних положень дотичних і значень радіусів кривини всередині отриманих діапазонів; локальне згущення ділянок кривої, в процесі якого забезпечуються призначені характеристики та монотонна зміна радіусів кривини всередині ділянки.

Положення точок згущення призначаються всередині області можливого розташування кривої, визначеної виходячи з умов, які на неї накладаються: відсутність осциляції, другий порядок гладкості, монотонна зміна радіусів кривини. На кожному кроці згущення можна сформувати проміжний розв'язок - обвід з дуг кривих Без'є, що стикуються з другим порядком гладкості. Запропоновані алгоритми дозволяють формувати обводи з монотонною зміною радіусів кривини нульового, першого і другого порядків фіксації. При цьому забезпечується можливість як завгодно локального коригування форми обводу при контролі значень характеристик в його точках.

***Ключові слова:*** дискретно представлена крива (ДПК), дотична, базисний трикутник, радіус кривини, другий порядок гладкості, монотонна зміна кривини.

**Постановка проблеми.** Задача конструювання виробів, призначення яких взаємодія із середовищем, передбачає моделювання складних поверхонь із підвищеними динамічними якостями [1-3]. Покращення динамічних якостей можна досягти за рахунок забезпечення плавності зміни диференційно-геометричних характеристик (положень дотичних і значень кривини) уздовж кривих, які є елементами каркаса поверхні [4-6].

Якщо крива представлена довільною кількістю вузлів, то при моделювати обводу із монотонною зміною кривини доцільно формувати ділянки кривої локально. Отримані ділянки стикуються із заданим порядком гладкості. Задача формування ділянки монотонної ДПК по заданим диференціально-геометричним характеристикам є

© Гавриленко Є. А., Холодняк Ю. В.

важливим етапом при моделюванні обводу із монотонною зміною кривини.

**Аналіз останніх досліджень**. При моделюванні обводу з контролем зміни диференціально-геометричних характеристик необхідно контролювати положення дотичних та значення кривини у вузлах кривої. Критерій, за допомогою якого можна оцінювати значення радіусів кривини у вузлах ДПК запропоновано у роботі [7]. Кривина оцінюється кривиною кривої Без'е, для якої точки, що її задають, співпадають із вершинами базисного трикутника. Базисний трикутник обмежений дотичними до ДПК, що проходять через послідовні точки та хордою, яка з'єднує ці точки (рис. 1).

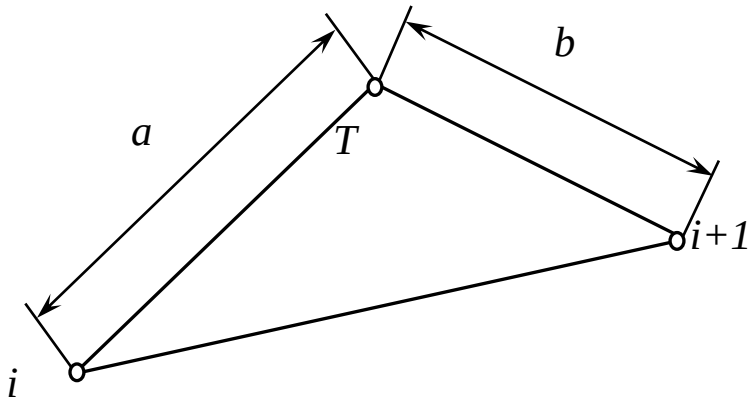



Рис. 1. Визначення радіусів кривини у вузлах ДПК

Значення радіусів кривини в точках $i$ та $i+1$ можна оцінити за формулами:

$$R_i = \frac{a^3}{S}, \quad R_{i+1} = \frac{b^3}{S},$$

де $a = |i;T|$ та $b = |T;i+1|$ – довжини сторін базисного трикутника $i,T,i+1$;

$S$ – площа базисного трикутника $i,T,i+1$.

У роботах [8,9] розроблено спосіб призначення положення дотичних до кривої. В результаті отримується ланцюг базисних трикутників, який забезпечує можливість моделювання обводу із монотонною зміною кривини.

Область можливого розташування монотонної кривої, яка визначається базисним трикутником, визначена у статті [10]. Границі розташування обводу визначаються параметрами базисного трикутника та значеннями радіусів кривини ДПК, заданими у вихідних точках.

**Формулювання цілей статті**. Метою статті є розробка геометричної схеми формування ділянки кривої, яка обмежена послідовними вузлами ДПК. Умовами моделювання кривої є монотонна зміна кривини, задані положення дотичних та значення радіусів кривини у вузлах, що обмежують ділянку.

**Основна частина**. Ділянка монотонної ДПК формується методом згущень. Нехай задано положення вузлів $i$ та $i+1$ (рис. 2). Дотичні, які проходять через ці вузли позначимо $t_i$ та $t_{i+1}$ відповідно. У граничних вузлах задані радіуси кривини $R_i$ та $R_{i+1}$ відповідно. Значення $R_i$ та $R_{i+1}$ необхідно забезпечити в процесі моделювання ділянки кривої.

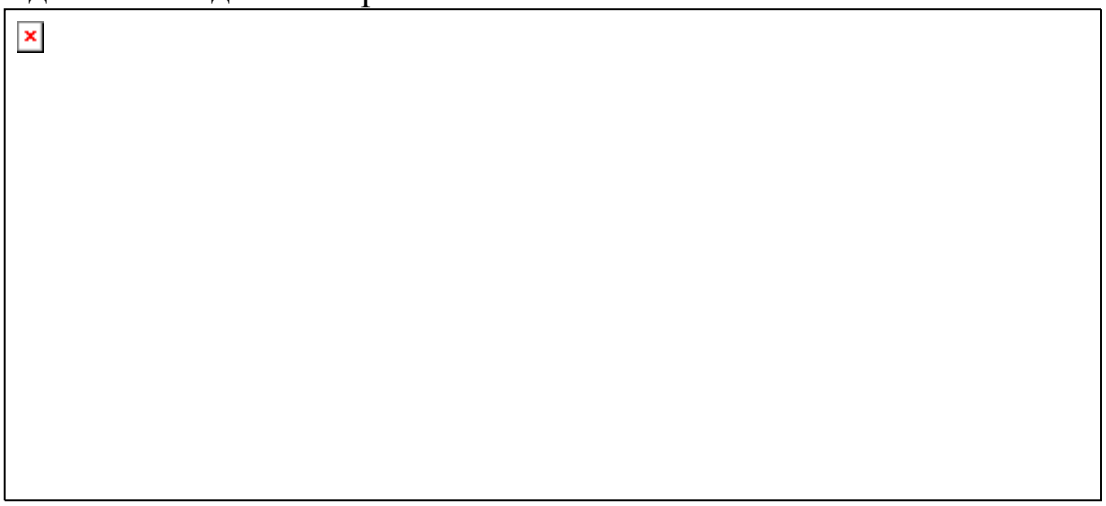


Рис. 2. Формування ділянки обводу

Ділянка монотонної кривої між вузлами $i$ та $i+1$ формується всередині базисного трикутника $i,T,i+1$. Позначимо радіуси кривини, які відповідають вказаному базисному трикутнику, у вихідних точках [4] як $\overleftarrow{R}_i$ та $\overrightarrow{R}_{i+1}$ відповідно. При визначенні положень дотичних $t_i$ та $t_{i+1}$ у вихідних вузлах забезпечується значення $\overleftarrow{R}_i$ менше за заданий радіус кривини ДПК $R_i$, а значення $\overrightarrow{R}_{i+1}$ – менше за заданий радіус кривини $R_{i+1}$, тобто $\overleftarrow{R}_i < R_i$ та $\overrightarrow{R}_{i+1} > R_{i+1}$.

Дотична $t_{зг}$, яка відповідає точці згущення, призначається паралельно хорді $[i;\, i+1]$. Граничні положення дотичної $t_{зг}$ визначаються за допомогою способу, який розроблено у роботі [9].

Після призначення дотичної $t_{зг}$ всередині отриманого діапазону, положення точки згущення $A$ однозначно визначається за умовою другого порядку гладкості обводу [8]. В результаті отримаємо два нових базисних трикутника згущення $i, T_1, A$ та $A, T_2, i+1$. Значення радіусів кривини, які відповідають базисним трикутникам $i, T_1, A$ та $A, T_2, i+1$ в точках $i$ та $i+1$ позначимо $\overleftarrow{R}_i^1$ та $\overrightarrow{R}_{i+1}^1$ відповідно.

В точці $A$ радіуси кривини, які відповідають базисним трикутникам згущення, дорівнюють:

$$\overrightarrow{R}_A^1 = \overleftarrow{R}_A^1 = \frac{2 \cdot l^2}{h},$$

де $l = |T_1; A| = |A; T_2|$ – довжини сторін базисних трикутників;

$h$ – відстань від точок $i$ та $i+1$ до дотичної $t_{зг}$.

Базисні трикутники $i, T_1, A$ та $A, T_2, i+1$ визначають у вихідних вузлах такі ж самі радіуси кривини, що і вихідний базисний трикутник $i, T, i+1$. Але отримані в результаті згущення значення $\overleftarrow{R}_i^1$ та $\overrightarrow{R}_{i+1}^1$ відрізняються від заданих значень $R_i$ та $R_{i+1}$.

Корегування радіусів кривини можна виконати за допомогою зміни положення точки згущення на дотичній. При переміщенні точки згущення контролюється умова монотонної зміни кривини уздовж кривої [8]:

$$\begin{cases} c < l + d; \\ l - d < f, \end{cases}$$

де $c = |i; T_1|$ та $f = |T_2; i+1|$ – довжини сторін базисних трикутників;

$d$ – відстань, на яку переміщується точка згущення.

Після переміщення $A$ у напрямку зростання радіусів кривини уздовж кривої (на рис. 2 у точку $i_{зг}$) значення $\overleftarrow{R}_i^1$ збільшується, а значення $\overrightarrow{R}_{i+1}^1$ зменшується. При цьому у точці згущення

порушується другий порядок гладкості кривої. Отримані радіуси кривини, що відповідають базисним трикутникам $i, T_1, i_{зг}$ та $i_{зг}, T_2, i+1$, дорівнюють:

$$\overrightarrow{R^1_{зг}} = \frac{2\cdot(l+d)^2}{h}, \quad \overleftarrow{R^1_{зг}} = \frac{2\cdot(l-d)^2}{h}.$$

Забезпечити задані значення радіусів кривини $R_i$ та $R_{i+1}$ у точках, що обмежують ділянку кривої, можна в результаті другого кроку згущення. Для цього всередині базисних трикутників згущення, отриманих після переміщення точки $A$ в точку $i_{зг}$, $i, T_1, i_{зг}$ та $i_{зг}, T_2, i+1$ призначаються дотичні другого кроку згущення ($t^1_{зг}$ та $t^2_{зг}$). Дотичні $t^1_{зг}$ та $t^2_{зг}$ проводяться паралельно хордам $|i; i_{зг}|$ та $|i_{зг}; i+1|$ відповідно. Позначимо відстані від дотичних $t^1_{зг}$, $t^2_{зг}$ до основ базисних трикутників $|i; i_{зг}|$, $|i_{зг}; i+1|$ як $h_1$ та $h_2$ відповідно.

При зміні $h_1$ та $h_2$ радіуси кривини в точках $i$, $i_{зг}$ та $i_{зг}$, $i+1$ ($\overleftarrow{R^2_i}$; $\overleftarrow{R^2_{зг}}$, $\overrightarrow{R^2_{зг}}$; $\overrightarrow{R^2_{i+1}}$), які забезпечуються базисними трикутниками другого кроку згущення, змінюються пропорційно, тобто:

$$\begin{cases} \overleftarrow{R^2_{зг}} = k_1 \cdot \overleftarrow{R^1_{зг}}; \\ \overleftarrow{R^2_i} = k_1 \cdot \overleftarrow{R^1_i}; \end{cases} \qquad \begin{cases} \overrightarrow{R^2_{зг}} = k_2 \cdot \overrightarrow{R^1_{зг}}; \\ \overrightarrow{R^2_{i+1}} = k_2 \cdot \overrightarrow{R^1_{i+1}}, \end{cases}$$

де $k_1$ та $k_2$ – коефіцієнти, на які змінюються радіуси кривини, отримані в результаті другого кроку згущення, відносно радіусів кривини першого кроку згущення.

Положення дотичних $t^1_{зг}$ та $t^2_{зг}$ призначається таким чином, щоб виконувалися умови:

$$\begin{cases} R_i = \overleftarrow{R_i^2}; \\ R_{i+1} = \overrightarrow{R_{i+1}^2}; \\ \overleftarrow{R_{зг}^2} = \overrightarrow{R_{зг}^2}. \end{cases}$$

В результаті другого кроку згущення сформовано ланцюг базисних трикутників, які забезпечують в точках $i$ та $i+1$ задані значення радіусів кривини $R_i$ та $R_{i+1}$ та стиковку із другим порядком гладкості ділянок ДПК у точці $i_{зг}$. При цьому отриманий ланцюг базисних трикутників забезпечує можливість моделювання кривої з монотонною зміною кривини.

**Висновки**. У роботі запропоновано схему локального формування ділянки монотонної ДПК по заданим диференціально-геометричним характеристикам у вузлах, що обмежують ділянку. Моделювання кривої по окремим ділянкам спрощує розрахунковий алгоритм та запобігає накопиченню похибки інтерполяції усього точкового ряду. Розроблена схема дозволяє формувати монотонну криву, яка задана довільною кількістю вузлів. У подальших дослідженнях планується розробити спосіб моделювання ділянки ДПК, яка містить точку зміни зростання та убування кривини та точку зміни опуклості та увігнутості кривої. Це дасть можливість моделювати ДПК другого порядку гладкості із закономірною зміною кривини на основі довільного точкового ряду.

**Список використаних джерел**

1. *Light R.* Modification of Geometric-Models Through Variational Geometry. / R.Light, D.Gossard // Computer-Aided Desig, 1982. V. 14, Is. 4. P. 209-214. https://doi.org/10.1016/0010-4485(82)90292-5

2. *Steenhuizen D.* The implementation of a knowledge-based framework for the aerodynamic optimization of a morphing wing device / D.Steenhuizen, M. Tooren // Advanced Engineering Informatics, 2012. V. 26, Is. 2. P. 207-218. https://doi.org/10.1016/j.aei.2012.02.004

3. *Salman M.* Free-form surface models generation using reverse engineering techniques - an investigation. /M.Salman, A.Mansor// Proceedings of Malaysian Research Group International Conference, 2006. P. 379–385.

4. *Kappis W.* Modern Gas Turbine Systems: High Efficiency, Low Emission, Fuel Flexible Power Generation /W.Kappis// Woodhead Publishing Series in Energy. 2013. P. 89-150. https://doi.org/10.1533/9780857096067.2.89

5. *Fooladi M.* Recognition and assessment of different factors which affect flicker in wind turbine /M.Fooladi, A.A.Foroud// IET Renewable Power Generation. 2016. V. 10, Is. 2. P. 250-259. https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2014.0419

6. *Hoschek J.* Turbine blade design by lofted B-spline surfaces /J.Hoschek, R.Müller// Journal of Computational and Applied Mathematics. 2000. Vol. 119, Is. 1–2. P. 235-248. https://doi.org/10.1016/S0377-0427(00)00381-2

7. *Холодняк Ю. В.* Задача оцінки значень кривини в точках дискретно-представленої кривої /Ю. В.Холодняк // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2012. Вип. 4, Т. 53. С. 164-167.

8. *Гавриленко Є. А.* Програмна реалізація алгоритму моделювання одновимірних обводів по заданим геометричним умовам /Є. А.Гавриленко , Ю. В.Холодняк // Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво. Луцьк, 2013. № 13. С. 4–9.

9. *Холодняк Ю. В.* Формирование одномерных обводов с закономерным изменением кривизны / Ю. В.Холодняк, Ю.А. Дмитриев // Динамика систем, механизмов и машин. Омск, 2014. № 3. С. 241–243.

10. *Холодняк Ю. В.* Визначення діапазонів положення дотичних при моделюванні монотонної дискретно представленої кривої /Ю. В.Холодняк // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Київ, 2012. Вип. 90. С. 367-371.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УЧАСТКА ОБВОДА С МОНОТОННЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ КРИВИЗНЫ

Гавриленко Е.А., Холодняк Ю.В.

### *Аннотация*

В работе предложен метод моделирования плоских дискретно представленных кривых (ДПК) с закономерным изменением дифференциально-геометрических характеристик. Формирование кривой с помощью разработанного метода предполагает проведение предварительного анализа исходной ДПК, в результате которого определяются диапазоны возможных, по условиям задачи, значений дифференциально-геометрических характеристик в ее точках; назначение конкретных положений касательных и значений радиусов кривизны внутри полученных диапазонов; локальное сгущение участков кривой, в процессе

которого обеспечиваются ранее назначенные характеристики и монотонное изменение радиусов кривизны внутри участка.

Положения точек сгущения назначаются внутри области возможного расположения кривой, определенной исходя из условий, которые на нее накладываются: отсутствие осцилляции, второй порядок гладкости, монотонное изменение радиусов кривизны. На каждом шаге сгущения можно сформировать промежуточное решение – обвод из дуг кривых Безье, состыкованных со вторым порядком гладкости. Предложенные алгоритмы позволяют формировать обводы с монотонным изменением радиусов кривизны нулевого, первого и второго порядков фиксации. При этом обеспечивается возможность сколь угодно локальной корректировки формы обвода при контроле значений характеристик в его точках.

***Ключевые слова:*** дискретно представленная кривая, касательная, базисный треугольник, радиус кривизны, второй порядок гладкости, монотонное изменение кривизны.

## MODELING OF THE AREA OF CONTOURS WITH MONOTONOUS CHANGE OF CURVATURE VALUES CHANGE

E. Gavrilenko, Yu. Kholodnyak

### *Summary*

The method of modeling plane discretely presented curves (DPC) with a regular change of differential geometric characteristics is proposed in this article. Curve formation using the developed method involves a preliminary analysis of the initial DPC, which determines the ranges of possible, according to the conditions of the problem, values of differential-geometric characteristics at its points; assignment of specific tangent positions and values of the radiuses of curvature within the obtained ranges; local condensation of sections of the curve, during which previously assigned characteristics and a monotonic change in the radiuses of curvature within the section are provided.

The positions of the condensation points are assigned within the region of the possible location of the curve, determined on the basis of the conditions that are imposed on it: the absence of oscillations, the second order of smoothness, a monotonic change in the radiuses of curvature. At each step of the condensation, an intermediate solution can be formed - a contour from arcs of Bezier curves joined to the second order of smoothness. The proposed algorithms allow the formation of contours with a monotonic change in the radii of curvature of zero, first and second orders of fixation. This provides the possibility of arbitrarily local adjustment of the shape of the contour when monitoring the values of the characteristics at its points.

**Key words:** discretely-submitted curve (DSC), a tangent, a basic triangle, radius of the curvature, the second order of smoothness, monotonous change of curvature, differential - geometrical characteristics, curve a point of a condensation, a point of change of growth of curvature, a point of change of decrease of curvature a point of change of camber of a curve a point of change of concavity of a curve.

**УДК 514.18** **DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-67**

# ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ АПРОКСИМАЦІЇ СПІРАЛЕПОДІБНИХ ДПК У ПОЛЯРНІЙ СИСТЕМІ КООРДИНАТ СПІРАЛЯМИ РІЗНОЇ ФОРМИ

**Щербина В. М., к.т.н.,** **https://orcid.org/0000-0002-0616-8010**
**Мацулевич О. Є. к.т.н.** **https://orcid.org/0000-0001-5553-709X**
*Таврійський державний агротехнологічний університет*
Тел. (0619) 42-24-36

***Анотація*** **–** розв'язання задач апроксимації спіралеподібних та замкнених дискретно представлених кривих (ДПК) напряму пов'язане із застосуванням декартової системи координат для знаходження оптимального рішення за визначеним критерієм, який задовольняє вимогам завдвння. Застосування декартової системи координат для вирішення поставлених задач призводить до отримання результатів з похибкою, оскільки присутня неоднозначність визначення спіралеподібної ДПК. Використання полярної системи координат при розв'язанні задач апроксимації спіралеподібних та замкнених ДПК дозволяє уникнути неоднозначності стосовно вісі *Oy* та значно спростити математичний апарат для моделювання пропонованих кривих.

В роботі розглядається можливість апроксимації спіралеподібних дискретно представлених кривих (ДПК) в полярній системі координат за критерієм найменших граничних відхилень (НГВ) спіралями різної форми.

***Ключові слова:*** апроксимація, спіралеподібна дискретно представлена крива (ДПК), простір параметрів, найменші граничні відхилення (НГВ) .

**Постановка проблеми.** Застосування полярної системи координат $(\rho,\varphi)$ при розв'язанні деяких задач апроксимації спіралеподібних і замкнених ДПК за критерієм найменших граничних відхилень (НГВ), в порівнянні з декартовою системою координат, дозволяє значно спростити математичний апарат для моделювання розглянутих кривих та уникнути їх неоднозначності стосовно осі $Ox$.

**Аналіз останніх досліджень.** Попередні публікації [1,2,3] розглядають способи неперервної НГВ–апроксимації спіралеподібних ДПК у полярній системі координат функцією $\rho=\rho_0+\kappa\varphi$. Однак, при розв'язанні деяких задач геометричного моделювання виникає необхідність застосування, у якості моделюючих, спіралей іншої форми, а ці питання, на жаль, не отримали подальшого розвитку.

© Щербина В. М., Мацулевич О. Є.

**Формулювання цілей статті.** Розглянути можливість застосування, у якості моделюючих, спіралеподібних кривих різної форми та провести порівняльний аналіз результатів моделювання.

**Основна частина.** При розв'язанні задачі НГВ – апроксимації спіралеподібних ДПК у полярній системі координат передбачається побудова для деякої множини точок $\{\rho_i \varphi_i\}$ на площині $(\rho,\varphi)$ спіралеподібної лінії $\rho = f(\varphi,\kappa_j)$ ($\kappa_j$ – параметри, які керують положенням і формою спіралі), такий, щоб

$$\Delta_i = \left|\rho_i - f(\varphi_i;\kappa_j)\right|_{max} \longrightarrow min \qquad (1)$$

Оскільки визначення значень параметрів $\kappa_j$ на основі їхньої варіації чи обмеження їхньої кількості не вдається розчленувати на складові частини, послідовне виконання яких привело б до розв'язку, виникла необхідність перенесення розв'язання до простору параметрів, число вимірів якого дорівнює числу параметрів моделюючої функції.

У цьому просторі заданим точкам $\{\rho_i;\varphi_i\}$ відповідають деякі, цілком визначені поверхні, шуканій лінії відповідає точка, а задача зводиться до визначення положення цієї точки щодо отриманих багатовимірних поверхонь.

Зазначимо, що необхідною умовою успішного розв'язання задачі НГВ–апроксимації перенесенням до простору параметрів є лінійність моделюючої функції щодо параметрів, які її визначають.

Як було сказано раніше [2] [3], найбільш простим (класичним) для параметризації є рівняння спіралі 1-го порядку вигляду

$$\rho = \rho_0 + \kappa\varphi \qquad (2)$$

Особливість перенесення в простір параметрів у цьому випадку полягає в наступному:

– Деякій довільній точці $M(\rho_m;\varphi_m)$ множини $\{\rho_i;\varphi_i\}$, $i=\overline{1;n};\ n \gg 2$ в просторі параметрів $(\rho_0;k)$ відповідає деяка пряма $m$:

$$\rho_m - k\varphi_m = \rho_0, \qquad (3)$$

що відтинає на осі $0\rho_0$ простору параметрів відрізок $\rho_m$, а на осі $0k$ – відрізок $\frac{\rho_m}{\varphi_m}$ (рис 1).

– Множині точок $\{\rho_i;\varphi_i\}$, $i=\overline{1;n};\ n\gg 2$ відповідає множина (жмуток) прямих

$$\rho_i-\rho_0-k\varphi_i=0 \tag{4}$$

на площині параметрів $(\rho_0;k)$;

– Точка $A(\bar{\rho}_0;\bar{k})$ на площині параметрів $(\rho_0;k)$ задає спіраль $\bar{m}$ у площині $(\rho,\varphi)$, що описується рівнянням

$$\rho=\bar{\rho}_0+\bar{k}\varphi \tag{5}$$

– Відхилення від точки $A(\bar{\rho}_0;\bar{k})$ до прямої $l_i$ на площині параметрів дорівнює відхиленню $\Delta_m$ точки $M(\rho_m;\varphi_m)$ від спіралі $\bar{m}$ уздовж радіуса $\rho_m$ (Рис.1).

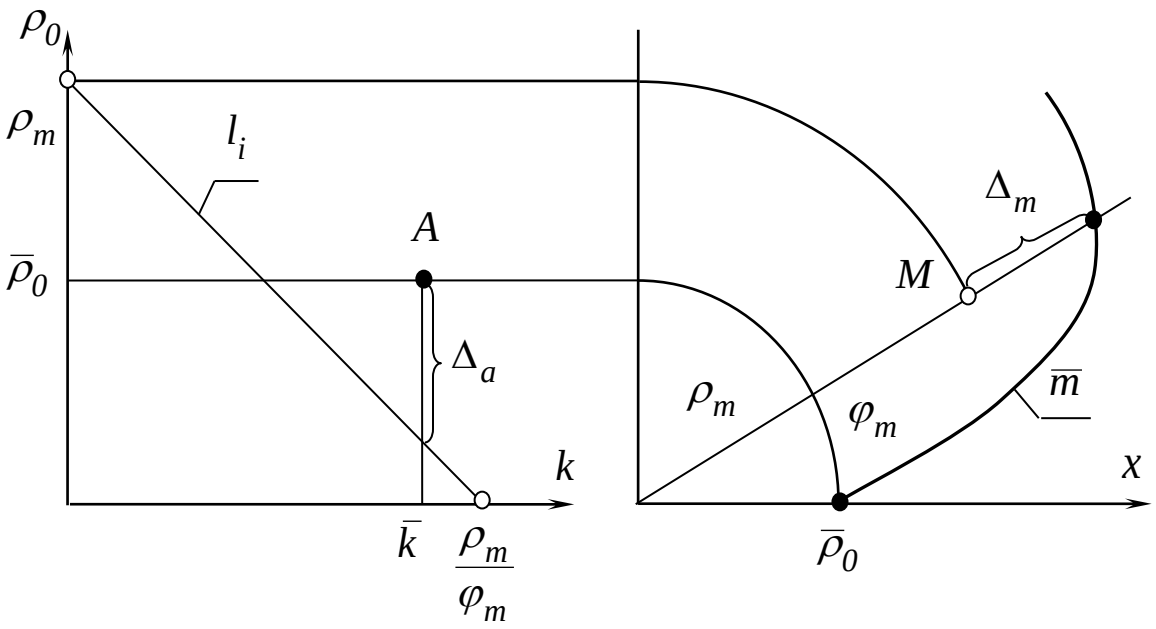



Рис 1

Алгоритм розрахунку параметрів НГВ – спіралі на площині $(\rho;\varphi)$ полягає в наступному [3]:

- знаходяться вузли верхньої і нижньої границі пучка П прямих;
- розраховуються $|\Delta|_{max}$ в знайдених вузлах, порівнюються і вибирається мінімальне з $|\Delta|_{max}$;
- визначається значення $\rho_0 = \bar{\rho}_0$ для середини відрізка в перетині, де $|\Delta|_{max}$ – мінімально, і значення $k = \bar{k}$, що визначає НГВ – спіраль $(\bar{\rho},\bar{k})$;
- розраховуються відхилення заданих точок від отриманої НГВ –спіралі.

Однак, при розв'язанні деяких задач геометричного моделювання, виникає необхідність апроксимувати за критерієм НГВ вихідну дискретно представлену точкову множину іншими, відмінними від (2), спіралями.

Розглянемо випадки, коли в якості апроксиманту виступають спіралі вигляду:

$$\rho = \rho_0 + \kappa\varphi^2; \tag{6}$$

$$\rho = \rho_0 + \kappa\sqrt{\varphi}; \tag{7}$$

$$\rho = \rho_0 + \frac{\kappa}{\varphi}; \tag{8}$$

Розв'язання поставлених задач так само здійснюється перенесенням до простору параметрів відповідно до основного алгоритму, представленого вище, але особливості перенесення у цих випадках будуть трохи відрізнятися від класичних.

У випадку параметризації спіралі (6) множині точок $\{\rho_i;\varphi_i\}$, $i=\overline{1;n}$; $n \gg 2$ у вихідному просторі, відповідає пучок прямих $\rho_i - \rho_0 - k\varphi_i^2 = 0$ на площині параметрів $(\rho_0;k)$, що відтинають на осі $0\rho_0$ простору параметрів відрізки $\rho_i$, а на осі $0k$ – відрізки $\frac{\rho_i}{\varphi_i^2}$.

Для спіралі (7) ця особливість полягає в тім, що множині точок $\{\rho_i;\varphi_i\}$, $i=\overline{1;n};\ n\gg 2$ у вихідному просторі, відповідає на площині параметрів $(\rho_0;k)$ вже пучок прямих $\rho_i-\rho_0-k\sqrt{\varphi_i}=0$, що відтинають на осі $0\rho_0$ простору параметрів також відрізки $\rho_i$, а на осі $0k$ – вже відрізки $\frac{\rho_i}{\sqrt{\varphi_i}}$, а для спіралі (8) – пучок прямих $\rho_i-\rho_0-\frac{k_i}{\varphi_i}=0$, що відтинають на осях $0\rho_0$ і $0k$ відрізки $\rho_i$ і $\rho_i\cdot\varphi_i$ відповідно.

У таблиці 1 наведено порівняльні результати НГВ – апроксимації спіралеподібних ДПК при моделюванні спіралями (2), (6), (7) і (8).

Таблиця 1

| | | | $\rho_i=\rho_0+\kappa\varphi_i$ | | $\rho_i=\rho_0+\kappa\varphi_i^2$ | | $\rho_i=\rho_0+\frac{\kappa}{\varphi_i}$ | | $\rho_i=\rho_0+\kappa\sqrt{\varphi_i}$ | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $i$ | $\varphi_i$ | $\rho_i$ | $\bar{\rho}_i$ | $\Delta_i$ | $\bar{\rho}_i$ | $\Delta_i$ | $\bar{\rho}_i$ | $\Delta_i$ | $\bar{\rho}_i$ | $\Delta_i$ |
| 1 | 10 | 145 | 133,8 | -11,2 | 129,23 | -15,77 | 184,07 | 39,07 | 137,98 | -7,02 |
| 2 | 20 | 126 | 131,6 | 5,6 | 128,72 | 2,72 | 146,75 | 20,75 | 133,42 | 7,42 |
| 3 | 30 | 128 | 129,4 | 1,4 | 127,88 | -0,12 | 134,32 | 6,32 | 129,93 | 1,93 |
| **4** | 40 | 163 | 127,2 | **-35,8** | 126,69 | **-36,31** | 126,88 | **-36,12** | 127,19 | **-35,81** |
| 5 | 50 | 100 | 125 | 25 | 125,17 | 25,17 | 124,37 | 24,37 | 124,38 | 24,38 |
| **6** | 60 | 87 | 122,8 | **35,8** | 123,31 | **36,31** | 123,12 | **36,12** | 122,81 | **35,81** |
| 7 | 70 | 102 | 120,6 | 18,6 | 121,11 | 19,11 | 120,11 | 18,11 | 119,88 | 17,88 |
| 8 | 80 | 92 | 118,4 | 26,4 | 118,57 | 26,57 | 118,77 | 26,77 | 117,87 | 25,87 |
| **9** | 90 | 152 | 116,2 | **-35,8** | 115,69 | **-36,31** | 115,88 | **-36,12** | 116,19 | **-35,81** |
| 10 | 100 | 82 | 114 | 32 | 112,48 | 30,48 | 116,91 | 34,91 | 114,19 | 32,19 |
| 11 | 110 | 120 | 111,8 | -8,2 | 108,93 | -11,07 | 116,22 | -3,78 | 112,51 | -7,49 |
| 12 | 120 | 134 | 109,6 | -24,4 | 105,03 | -28,97 | 115,66 | -18,34 | 110,87 | -23,13 |
| 13 | 130 | 94 | 107,4 | 13,4 | 100,81 | 6,81 | 115,18 | 21,18 | 109,32 | 15,32 |
| 14 | 140 | 108 | 105,2 | -2,8 | 96,24 | -11,76 | 114,77 | 6,77 | 107,82 | -0,18 |
| 15 | 150 | 117 | 103 | -14 | 91,33 | -25,67 | 114,42 | -2,58 | 106,38 | -10,62 |
| $k$ | | | -0,22 | | -0,001692 | | 746,2687 | | -3,4786 | |
| $\rho_0$ | | | 136 | | 129,399 | | 109,4403 | | 148,9807 | |
| НГВ | | | **35,8** | | **36,31** | | **36,12** | | **35,81** | |

**Висновки.** Порівнюючи результати НГВ-апроксимації для різних функцій, які наведено в таблиці 1, можна зробити висновки:

1. Найкращим є показник НГВ для функції $\rho_i = \rho_0 + \kappa\varphi_i$;
2. В якості НГВ-апроксимантів можна використовувати функції іншого вигляду, які мають гірший показник НГВ, якщо того потребують умови моделювання, або перед проектувальником ставиться задача використання конкретної функції-апроксиманта;

## Список використаних джерел

1. *Найдыш А.В.* Решение общей задачи плоской аппроксимации методом наименьшего предельного отклонения (НПО) //Сб.трудов III Междунар. научно-практ. конф. "Современные проблемы геом.моделирования". Мелитополь: ТГАТА, 1996. ч.1. С.72-73.
2. *Найдыш А.В., Мацулевич А.Е.* Решение НСО-задачи со спиралеобразными ДПК // Прикл. геом. и инж.графика. / Труды ТГАТА. Мелитополь, 1998. Вып.4. Т.5. С.35-38.
3. *Найдиш А.В., Мацулевич О.Е.* Моделювання спіралеподібних ДПК перенесенням до простору парамертів // Прикл. геом. та інж.граф. К.: КДТУБА,1999. Вип.65. С.42-44.

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ АППРОКСИМАЦИИ ДПК В ПОЛЯРНОЙ СИСТЕМЕ КООРДИНАТ СПИРАЛЯМИ РАЗЛИЧНОЙ ФОРМЫ

Щербина В.М., Мацулевич А.Е.

***Аннотация***

Решение задач аппроксимации спиралевидных и замкнутых дискретно представленных кривых (ДПК) напрямую связано с применением декартовой системы координат для нахождения оптимального решения по определенному критерию, который удовлетворяет требованиям задания. Применение декартовой системы координат для решения поставленных задач приводит к получению результатов с погрешностью, поскольку присутствует неоднозначность определения спиралевидной ДПК.

Использование полярной системы координат при решении задач аппроксимации спиралевидных и замкнутых ДПК позволяет избежать неоднозначности относительно оси Оу и значительно упростить математический аппарат для моделирования предлагаемых кривых.

В работе рассматривается возможность аппроксимации спиралевидных дискретно представленных кривых (ДПК) в полярной системе координат по критерию наименьших предельных отклонений (НПО) спиралями разной формы.

**Ключевые слова:** аппроксимация, спиралевидная дискретно представленная кривая, пространство параметров, наименьшие предельные отклонения.

## THE COMPARATIVE ANALYSIS OF RESULTS OF APPROXIMATION DCS IN POLAR SYSTEM OF COORDINATES SPIRALS OF THE VARIOUS FORM

V. Shcherbina, A. Matsulevych

### *Summary*

Mathematical processing of discretely submitted graphic information is connected to the decision of tasks of approximation of dot lines in polar system of coordinates by criterion which is not differentiated. The task is complicated that curve (DSC) which represents itself as an illustration of the process proceeding, as a rule, oscillation is discretely submitted, and on the conditions, the describing phenomenon or process, oscillation should not be.

The decision of tasks of approximation of helicoid and closed discretely submitted curves (DSC) directly is connected to application of the cartesian system of coordinates for a presence of the optimum decision by the certain criterion which meets the requirements of the decision of a task.

Modelling ambiguous, in relation to an abscissa axis, the helicoid or closed discretely submitted curves in the cartesian system of coordinates is connected to increase in number of parameters, causes complications of the computing device and to decrease in accuracy of designing.

Use of polar system of coordinates at the decision of tasks of approximation helicoid and closed DSC allows to avoid ambiguity concerning an abscissa axis and considerably to simplify the mathematical device for modelling suggested curves.

Existing, perspective, ways and additional opportunities of discrete modelling which take into account internal geometry DSC disregard a question of correction oscillation parts DSC. In work the opportunity of approximation of helicoid discretely submitted curves (DSC) in polar system of coordinates by criterion of the least maximum deviations (LMD) is examined by spirals of the different form and the comparative analysis of results modeling is carried out.

In work the opportunity of approximation of helicoid discretely submitted curves (DSC) in polar system of coordinates by criterion of the least maximum deviations (MDC) is examined by spirals of the various form and the comparative analysis of results of modelling is carried spent.

**Key words:** approximation, discretely submitted curve (DCC), space of parameters, the least maximum deviations (LMD).

Електронне наукове фахове видання

**Науковий вісник**
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 9, том 1.

Відповідальний за випуск – д.т.н., професор Назаренко І.П..

---

Підписано до друку 18 жовтня 2019 р. друк. ТДАТУ.
42,7 умов. друк. арк.