МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету



Випуск 11, том 2

Електронне наукове фахове видання

Мелітополь – 2021 р.

УДК [631.3+621.3+004]
Т 13
Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету: електронне наукове фахове видання / ТДАТУ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – Вип. 11, том 2.
ISSN 2220-8674
Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,
Протокол № 5 від 30 листопада 2021 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, AGRIS, «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
Кондратюк Ю.В. (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)
Болтянська Н. І. – к.т.н., доц (Україна)
Єременко О. А. – д.с.-г.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 – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Адреса редакції: ТДАТУ
Просп. Б. Хмельницького, 18,
м. Мелітополь, Запорізька обл., 72312 Україна
© Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, 2021.

ЗМІСТ

ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. В. Бережецький, В. М. Вавpикович 1
Оцінка стану відкладень на робочих металевих поверхнях системи водоохолодження оборотного тепловодопостачання

С. І. Пастушенко, М. Б. Кендій, О. М. Троханяк 2
Дослідження крутного моменту гвинтового конвеєра з лопатевим робочим органом

О. Г. Скляр, Р. В. Скляр 3
Біоконверсні технології прискореної переробки відходів тваринництва в екологічно безпечні добрива

Б. А. Волик, Г. В. Теслюк, А. В. Коновий, Є. І. Лепеть 4
Методика прогнозування на проектному етапі якісних показників роботи ґрунтообробного знаряддя

D. Zhuravel 5
Research of lubricant properties of used tractor motor oils

S. Romanenko, Ya. Andriievska 6
Technical inspection and calculation of the wooden frame of the building for loading capacity

В. І. Банга 7
Теоретичні дослідження потужності процесу дозування індивідуальним дозатором з конусно-лопатевим робочим органом

В. В. Дідур, Є. А Петриченко, В. Є. Гуцуляк 8
Аналіз зносів і дефектів колінчастого валу компресора автомобіля та способів їх усунення

Н. І. Болтянська, І. Ю. Маніта, Н. Г. Серебрякова 9
Дослідження залежності якості молока від технології доїння

О. Д. Деркач, Д. О. Макаренко, Є. С. Муранов, А. В. Лободенко 10
Підвищення довговічності рухомих з'єднань посівних машин впровадженням прогресивних конструкційних матеріалів

Л. М. Чернишова, С. І. Мовчан 11
Забезпечення екологічної безпеки поводження з рідкими відходами підприємств аграрного сектору країни

І. М. Грицаєнко, Г. І. Грицаєнко 12
Технічне забезпечення аграрного виробництва: еколого-економічний аспект

О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, С. М. Григоренко 13
Моделювання та оптимізація річного обороту стада великої рогатої худоби

Б. В. Болтянський, О. С. Колодій, А. О. Парієв, О. О. Дробишев Т. М. Коротченко 14
Визначення енергоємності процесу розкидання стебельчастого матеріалу з рулонів

А. С. Комар 15
Сучасні запатентовані способи переробки посліду птахів

Д. П. Журавель, А. М. Бондар, Г. І. Дашивець, В. В. Паніна 16
Обґрунтування швидкісних параметрів роботи машинно-тракторного агрегату

Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський, О. М. Орел, Т. А. Непарко 17
Дослідження впливу технологічного середовища на роботу гомогенізаторів

В. В. Дідур, Т. О. Кутковецька, О. В. В'юник, В. В. Паніна 18
Підвищення ефективності експлуатації меліоративних машин

О. С. Колодий, О. В. Сушко 19
Изменение работы резания под влиянием нанесенного на обрабатываемую поверхность покрытия

Г. І. Грицаєнко, І. М. Грицаєнко 20
Розробка інвестиційних проєктів аграрного виробництва: орієнтація на сталий розвиток

О. В. Кофанова, О. Є. Кофанов, А. О. Синяговський, В. А. Іванов, А. І. Гузан, А. Ю. Борсук 21
Контроль фізико-хімічних властивостей палив, паливних композицій і відновлених олив за допомогою експрес-методів

О. О. Дереза, Б. В. Болтянський, С. В. Дереза 22
Використання мобільних кормороздавачів-змішувачів на фермах ВРХ як засіб підвищення продуктивності худоби і економії кормів

Р. І. Барабаш, М. А. Михалюк 23
Аналіз залежностей параметрів та показників ефективності технологічного процесу ТО-2 та ТО-3 тракторів ХТЗ–16131

Л. О. Болтянська 24
Сучасний стан та тенденції регіонального ринку молока

ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

О. В. Василишина, А. О. Чернега, О. С. Рибчак 25
Розробка сорбету функціонального призначення

Л. В. Фіалковська 26
Ефективні способи очищення соняшникової олії від домішок

Л. М. Крижак 27
Роль інновацій та інноваційного процесу в розвитку харчової промисловості України

А.В. Антоненко, Г.А. Толок, Т.В. Бровенко, Ю.В. Земліна, О. В. Василенко, Н. М. Стукальська 28
Інноваційні технології борошняних кондитерських виробів з апельсиновим пектином

О. В. Пахомська 29
Харчові продукти - проблеми якості та безпечності

О. В. Василишина 30
Щільності плодів вишні за обробки полісахаридними композиціями

Н. В. Камсуліна, Т. С. Желєва 31
Дослідження фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей нативних та модифікованих крохмалів

Igor Mazurenko, Zhengzheng Shao, Yangui Xie 32
The plant raw materials and medicinal plants for children's functional foods, safety studies

ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

О.А. Климчук, Г.В. Лужанська, В.В. Кандєєва, І.В. Аксьонова, І.В. Борохов 33
Шляхи підвищення енергоефективності роботи тепломасообмінних установок систем низькотемпературного комбінованого опалення при використанні альтернативних джерел енергії

В. М. Боярчук, С. В. Коробка, Р. Є. Кригуль, М. І. Бабич, І. Г. Стукалець 34
Обґрунтування конструкції геліотермічних установок на прикладі повітряного геліоколектора

І. І. Сілі, О. Ю. Азархов 35
Дослідження електромагнітного забруднення від ліній електропередач напругою 750кВ

І. П. Назаренко, В. Л. Іконніков, А. Б. Чебанов, С. В. Дубініна 36
Дослідження енергоефективності процесу в електролізерах з електролітиною мембраною

М. В. Постнікова, О. В. Ковальов, В. О. Петров 37
Дослідження завантаження енергетичного обладнання робочих машин зернопунктів

О. І. Лобода, Д. М. Нестерчук 38
Модель автоматизованого комплексу контролю силових кабельних ліній для нечіткої системи оцінки стану ізоляції

І. О. Попова, О. В. Ковальов 39
Визначення напруги зміщення нейтралі як діагностичного параметра режиму роботи асинхронного двигуна

І. П. Назаренко, Р. В. Кушлик, Р. Р. Кушлик, М. І. Стручаєв 40
Аналіз електродних систем та конструкцій апаратів для очищення олій в електричному полі

І. О. Попова, С. Ф. Курашкін 41
Мікропроцесорний пристрій моніторингу та захисту трифазного асинхронного двигуна

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-1

УДК 628.179.2

В. М. Кюрчев [1], д.т.н. проф. ORCID: 0000-0003-4377-1924
С. І. Мовчан [1], к.т.н., доц. ORCID: 0000-0001-8665-482X
О. В. Бережецький [2], к.т.н.
В. М. Вавриkович [3], інженер
[1]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
[2]*Товариство з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ»*
[3]*Товариство з обмеженою відповідальністю «Гідрофлоу»*
e-mail: serhii.movchan@tsatu.edu.ua

ОЦІНКА СТАНУ ВІДКЛАДЕНЬ НА РОБОЧИХ МЕТАЛЕВИХ ПОВЕРХНЯХ СИСТЕМИ ВОДООХОЛОДЖЕННЯ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ

Анотація. В промислових умовах апробовано прилад «Hydroflow Industrial (test)» в системі водоохолодження оборотного тепловодопостачання. Випробування було проведено в широкому діапазоні температурного перепаду мастила, води та пару і показали надійність, ефективність та тривалість процесів захисту та боротьби із карбонатними відкладень, накипом, біообростанням на робочих поверхнях труб та обладнання.

Отримані результати наочно довели ефективність електронної водопідготовки, які покращують роботу всього обладнання у цілому, зменшують гідравлічні навантаження, запобігають утворенню відкладень на внутрішніх робочих поверхнях теплообмінного обладнання, значно збільшують час роботи всього технологічного обладнання і окремих його складових одиниць і елементів.

Досягнення суттєвого покращення процесів водоохолодження та тепловідведення, зменшення теплового навантаження на обладнання, підвищення економічної ефективності та енергозбереження при експлуатації основного та допоміжного виробничого обладнання у металургії, значне зниження витрат на ремонти, зменшення трудовитрат та збільшення міжремонтних періодів.

Ключові слова: оборотне водопостачання, тепловодопостачання, система водоохолодження, електронна водопідготовка, енерго- і водоспоживання.

© В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. В. Бережецький, В. М. Вавриkович

Постановка проблеми. Використання води і водних ресурсів в промисловому секторі країни обумовлено вирішенням двох взаємопов’язаних між собою інженерно-технічних і екологічних задач і завдань, які пов’язані з підготовкою та використанням води в системі оборотного тепловодопостачання, за рахунок використання електронної водопідготовки. Для вирішення першого завдання відомі інженерно-технічні рішення, які за своєю фізичною сутністю відповідають імпульсній високочастотній електромагнітній підготовки води, в системах оборотного тепловодопостачання.

Пристрій для обробки рідини в трубопроводі, що включає перший і другий основні елементи з магнітопровідного матеріалу, пристосованих для кріплення до трубопроводу для оточення однакових у віддалених положеннях поперек; і засоби для створення радіочастотних магнітних потоків у зазначених основних елементах, для генерації відповідних електромагнітних полів у рідині, що підлягає обробці і проходить уздовж трубопроводу.

Загальна актуальність та перспективність обраної тематики наукових досліджень і промислових випробувань приладу «HydroFLOW» пов'язана, перш за все, з наступними факторами:

- глобальним потеплінням і загальним екологічним трендом на посилення боротьби за зменшення навантаження на навколишнє середовище з боку промислових та енергетичних підприємств;

- подорожчанням енергоносіїв, збільшенням плати за використання природних ресурсів (перш за все - води) та скиди шкідливих речовин;

- глобальними кліматичними змінами, які призводять до суттєвих змін характеру стоку за 12 місяців та внутрішньорічного розподілу водного стоку річок на території України [1, 2].

Кліматичні зміни, через викиди парникових газів і значного збільшення витрат на енергію, вимагають ефективного управління енерго- і водоспоживанням. У зв'язку з цим особливо важлива ефективність систем водяного охолодження на електростанціях для підтримки максимального вироблення електроенергії на тонну споживаного палива [3].

Аналіз останніх досліджень. Температура є цікавою не тільки з точки зору розчинності, вона також важлива для проходження хімічних реакцій і зростання мікробів в об’ємі і на поверхні труб. Оптимальна температура для біологічного зростання становить від 15°C до 50°C (точне значення різниться для різних видів бактерій). Підвищення температури в об’ємі може або збільшити, або зменшити реакції, в залежності від сполук у ньому. Високі температури на поверхні можуть викликати розкладання компонентів рідини, в результаті чого відбувається коксування поверхні. На рис. 1 показані залежності

деяких механізмів забруднення від температури поверхні [4, 5].

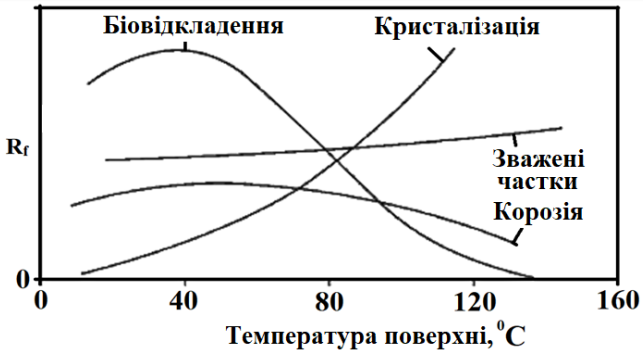


Рисунок 1. Температурна залежність для різних типів забруднення теплообмінників. Чим вище значення Rf, тим більше обростання [7].

З наведених графічних залежностей наочно видно, що з підвищенням значення Rf, тим більше обростання. Розміри частинок не змінюються, внаслідок того, що частинки постійно рухаються. А на внутрішніх робочих поверхнях відбувається кристалізація що сприяє накопиченню біологічних відкладів [6-7].

Зворотний турбулентний потік збільшує локальну температуру і, отже, швидкість обростання інвертованих розчинних сполук та інших видів обростання [5, 6, 7].

Одним з найважливіших факторів, що впливають на обростання, є матеріал поверхні об'єкта і наявність на ньому подряпин.

Подряпини - це місця руйнування захисних оксидних плівок і скупчення забруднень, через що бактерії, молекули і зважені частинки можуть осідати в них і інтенсифікувати подальше забруднення.

Різні матеріали мають різний pH (нейтральний pH = 7 полегшує прикріплення відкладів) і різні фунгіцидні властивості, що принципово впливає на формування поверхневих відкладів [6-8].

Значний світовий досвід експлуатації елементів систем водообігу, виконаних з різних матеріалів, дозволяє вивести певні закономірності, важливі для розуміння механізмів формування відкладень на їх поверхні, подальшого впливу на зміну теплотехнічних і гідродинамічних характеристик, перспектив ефективності, дорожнечі і екологічності запланованих для застосування технологій очищення поверхонь від накопичених відкладень.

Наприклад, в трубах з нержавіючих високолегованих сталей типу 08Х18Н10Т, а також - в трубах з мідно-нікелевих сплавів типу мідно-нікелевого заліза (МНЗ), після експлуатації, *спостерігається найменший рівень питомої кількості забруднень* (лінійна швидкість утворень з прісної води Дніпра становить 0,6-1,2 мм/рік). У трубах зі Сталі 20 забруднень в 8-10 разів більше, причому половину з них складають продукти корозії [7-9].

Матеріали труб, що не містять міді, більш схильні до біообростання, ніж труби з високим вмістом міді [8-10].

Численні дослідження продемонстрували, що мідь і латунь є бактерицидними матеріалами, а нержавіюча сталь.

Саме широко відомі протимікробні, фунгіцидні і антисептичні властивості міді та її сплавів призводять до мінімізації відкладів біологічного характеру на поверхнях мідних трубок.

Питання оцінки впливу знайшли своє відображення в дослідженнях, як вітчизняних так, і закордонних фахівців і науковців. По-перше, враховано глобальними кліматичними змінами, які призводять до суттєвих змін характеру стоку за 12 місяців та внутрішньорічного розподілу водного стоку річок на території країни В. В. Гребень, В. К. Хильчевский.

Суттєві енергетичні витрати призводять до підвищення витрат на енергію, вимагають ефективного управління енерго- і водоспоживанням враховано в роботах А. А. Протасов, Г. А.Панасенко, С. П. Бабарига. При цьому механізмів забруднення від температури досліджено закордонними спеціалістами R. P. George і близького зарубіжжя А. С. Гринин, В. Н. Новиков.

Значна частка відкладень на внутрішніх робочих металевих поверхнях утворюється з підвищенням значення *Rf*, створює умови для ще більшого обростання, що відзначено автором H. Müller-Steinhagen. Як зазначено в роботі K. J. Bell, A. C. Mueller різні матеріали мають різний показник pH (нейтральний pH = 7 полегшує прикріплення відкладів) і різні фунгіцидні властивості, що принципово впливає на формування поверхневих відкладів. В роботах K. Grijspeerdt, B. Hazarika, D. Vucinic та P. Lenaers досліджено використання різних матеріалів щодо їх до біообростання.

Враховуючі відповідальність технологічних процесів необхідно вирішити важливу ***водогосподарську проблему*** яка полягає в підвищенні підготовки води в системах оборотного тепловодопостачання підприємств атомної енергетики.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Провести дослідження приладу електронної водопідготовки в системі оборотного тепловодопостачання для системи охолодження маслованни підшипника і електродвигуна насосної станції бризкальних басейнів циркуляційної системи визначає мету досліджень.

Основна частина.

1. Візуальні спостереження за станом робочих поверхонь

1.1. Оцінка стану відкладень на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна насосного агрегату НС19.

Візуально, стан фланцевих з'єднань і трубопроводів на вході і виході з системи водоохолодження електродвигуна насосного агрегату **НС19** практично ідентичний.

Присутні значні давні, складні, багатошарові відкладення.

Зокрема, слід відзначити, що:

А) Верхній шар (більш ніж 3 мм) - відкладення брудно-зеленого кольору органічного походження, що легко знімаються, які мають характерний запах гниття/розкладання біологічних залишків у т.ч. слизу (біоплівки), водоростей та інших біологічних форм;

Б) Нижній шар - давні складні, багатошарові комплексні щільнозчеплені з піском і оксидами заліза карбонатні відкладення, закріплені на металевій поверхні фланця і трубопроводу водоохолодження електродвигуна НС19 (рис. 2).

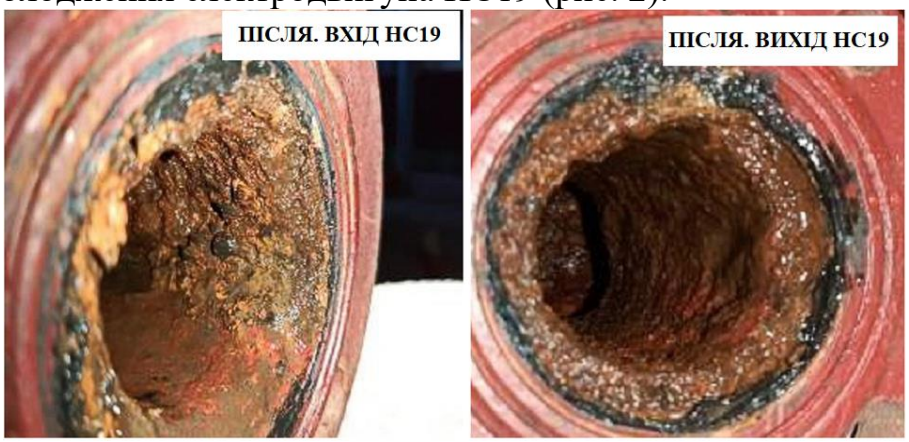


Рисунок 2. Стан відкладень на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна НС19 після випробувань (Ліворуч - вхід, праворуч - вихід).



Рисунок 3. Стан насічки на відкладеннях на фланці з боку входу води до системи водоохолодження електродвигуна НС19 після випробувань у двох ракурсах (Ліворуч - ракурс 1, Праворуч - ракурс 2).

Візуальний огляд виконаних раніше, перед початком випробувань, насічок (рис. 2-3) показав, що їх об'єм заповнений/занесений карбонатними відкладеннями, верхній шар яких покритий біологічними відкладеннями, що і стало причиною внесення суттєвих змін до глибини насічок в менший бік. Занесення склало практично 100%.

Після розчищення порожнин насічок фахівцями ВРХЛ ВП ЗАЕС було виконано інструментальний замір глибин насічок на відкладеннях на фланцях насосної станції 19 (НС19) (рис. 4).

Вони склали:

- на фланці входу охолоджуючої води - 2,8 мм;
- на фланці виходу охолоджуючої води - 0,8 мм;

Вихідна глибина насічок становила 5 мм [1, 11].

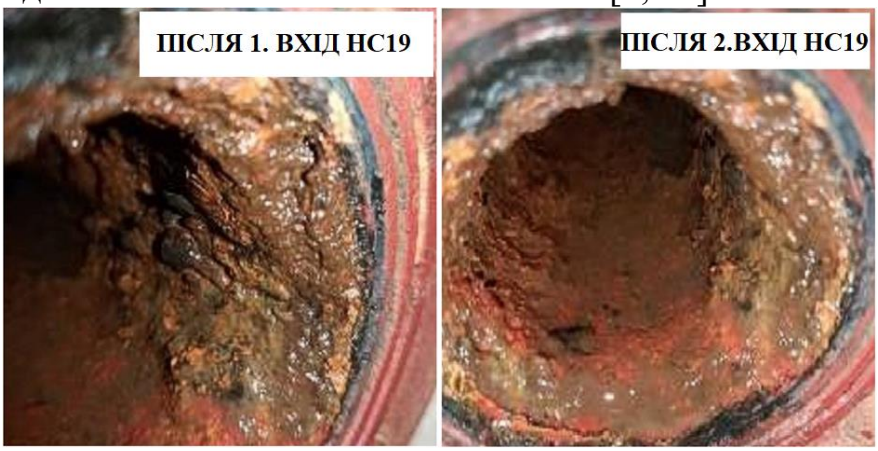


Рисунок 4. Стан насічки на відкладеннях на фланці з боку входу води до системи водоохолодження електродвигуна НС19 після випробувань в двох ракурсах (Ліворуч - ракурс 1, Праворуч - ракурс 2).

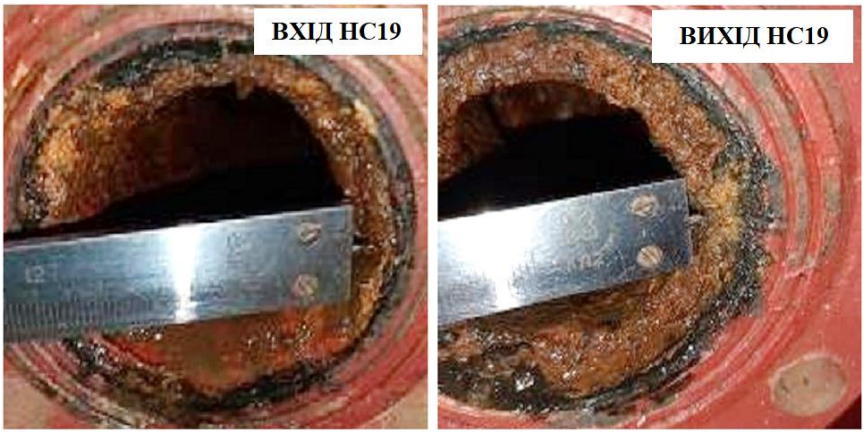


Рисунок 5. Інструментальний замір глибин насічок на відкладеннях на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна НС19 після випробувань (Ліворуч - вхід, праворуч - вихід).

Процес зачищення/розчищення місць нанесення насічок і замірів їх глибин на вхідних і вихідних фланцях системи водоохолодження електродвигуна НС19 додатково зафіксовано шляхом відеофіксації фахівцями ВРХЛ ВП ЗАЕС.

1.2. Оцінка стану відкладень на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна насосного агрегату НС20.

В результаті візуального обстеження відкладень на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна насосного агрегату НС20 зафіксовано повну відсутність біологічних відкладень і слизу. У той же час фіксується незначна наявність дрібнодисперсних мулистих механічних частинок (наносів), запах вогкості тощо.



Рисунок 6. Стан відкладень на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна НС20 після випробувань (Ліворуч - вхід, праворуч - вихід).



Рисунок 7. Стан насічки на відкладеннях на фланці з боку входу води до системи водоохолодження електродвигуна НС20 після випробувань в двох ракурсах (Ліворуч - ракурс 1, Праворуч - ракурс 2).

А). Внутрішня поверхня фланцевих з'єднань і трубопроводів охолодження електродвигуна НС20 носить злегка шорстку структуру, фіксуються давні складні багатошарові, комплексні щільнозчиплені з піском і оксидами заліза карбонатні відкладення, закріплені на металевих внутрішніх поверхнях фланців і трубопроводів охолодження електродвигуна НС20.



Рисунок 8. Стан насічки на відкладеннях на фланці з боку входу води до системи водоохолодження електродвигуна НС20 після випробувань в двох ракурсах
(Ліворуч - ракурс 1, Праворуч - ракурс 2).

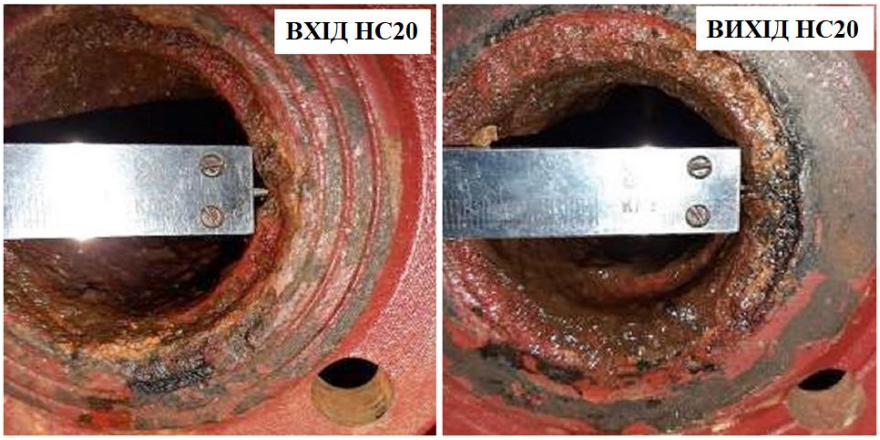


Рисунок 9. Інструментальний замір глибин насічок на відкладеннях на фланцях підведення води в системі водоохолодження електродвигуна НС20 після випробувань
(Ліворуч - вхід, праворуч - вихід).

Б). На внутрішніх поверхнях, в районі 3-х годин (в часових координатах), порожнини нанесених раніше контрольних засічок заповнено/занесено муловими відкладеннями і оксидами заліза, при

цьому, на думку товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) «САВ КОМПЛЕКТ», переважаючим елементом є оксид заліза (іржа). Це зафіксовано на фото (рис. 7 і рис. 8), що і стало причиною зміни глибини насічок в меншу сторону. Після розчищення порожнин зарубок фахівцями водно-радіаційна хімічна лабораторія (ВРХЛ) виробниче підприємство) ВП Запорізька атомна електрична станція (ЗАЕС) був виконаний інструментальний замір глибин насічок на відкладеннях на фланцях НС19 (рис. 9).

Вони склали:

- на фланці входу охолоджуючої води - 2,8 мм;
- на фланці виходу охолоджуючої води - 0,8 мм;

Вихідна глибина насічок становила 5 мм [1, 11, 12].

Процес зачищення / розчищення місць нанесення насічок і замірів їх глибин на вхідних і вихідних фланцях системи водоохолодження електродвигуна НС20 додатково зафіксовано шляхом відеофіксації фахівцями ВРХЛ ВП ЗАЕС.

Основні переваги використання електронної водопідготовки полягають у наступному:

1. Високу ефективність при видаленні наявних і запобіганні утворення нових карбонатних та біологічних відкладів у контурі водоохолодження.

2. Суттєво покращуються процеси водоохолодження та тепловідведення, зменшення теплового навантаження на обладнання, підвищення економічної ефективності та енергозбереження при експлуатації основного та допоміжного виробничого обладнання у металургії, значне зниження витрат на ремонти, зменшення трудовитрат та збільшення міжремонтних періодів.

3. Якісно відбуваються гідродинамічні процеси водоохолодження і оберту мастила, які відбуваються в умовах підвищеного температурного режиму.

4. Отримані результати довели доцільність, можливість та ефективність застосування паралельної системи збору, фіксації, передачі та обробки даних, а також спеціально розробленого програмного забезпечення на базі відомих формул розрахунку середнього логарифмічного температурного напору та умовної розрахункової товщини шару накипу, що дозволяє наочно, з використанням графічних залежностей відображати відповідні теплотехнічні процеси.

Висновки. Застосування приладу «HydroFLOW» на контурі водоохолодження окремих складових одиниць та елементів дозволило досягти наступних результатів:

1. У контурі водоохолодження повітроохолоджувача електродвигуна видалено біологічні відкладення і частково створено умови, які зменшують ризики появи нових відкладень.

2. У контурі водоохолодження обмоток статора електродвигуна видалені біологічні відкладення (процес активного видалення почався на 12-у добу з моменту встановлення приладу «HydroFLOW» і тривав до кінця випробувань. Видалення відкладень призвело до значного підвищення ефективності охолодження обмоток статора електродвигуна НС20.

3. Слід додатково зазначити 3 фактори, які могли мати негативний вплив на ефективність застосування приладу «HydroFLOW» в даній конкретній конфігурації технологічної схеми водоохолодження елементів електродвигуна насосного агрегату раніше детально розкритих в окремих пунктах даного Робочого звіту:

А). У зв'язку з доведеним помітним очищенням, під впливом сигналу «HYDROPATH», що генерується приладом «HydroFLOW», вільного перетину комірок сітки фільтру і довготривалим поліпшенням прохідності сітки фільтру НС20, істотно збільшується кількість мулу, великорозмірних зважених часток і дрібних особин молюсків, що вільно проходять крізь них. Це, потенційно, у рази підвищує ризики засмічення трубок охолоджуючого змійовика в місцях звуження діаметрів і різких поворотів на 90^0.

Б). Зафіксоване в кінці випробувань, на різних елементах електродвигуна насосного агрегату НС20, спотворення і невідповідність нормі сигналу «HYDROPATH», викликане, найімовірніше, сильними електромагнітними полями і струмами наведення на такому потужному електромагнітному об'єкті, як асинхронний електродвигун АВСМ-16-73-12УХЛ4 (Номінальна потужність 1000 кВт, номінальна напруга 6000 Вт, струм статора 139А).

В). Відомі протимікробні, фунгіцидні та антисептичні властивості міді і її сплавів призводять до початкової мінімізації відкладень біологічного характеру на поверхнях мідних трубок в системі водоохолодження електродвигунів насосних агрегатів (наприклад, загальна кількість мікрофлори гетеротрофною біоплівки на міді в 70-600 разів менше, ніж на вуглецевої сталі і "змазування загальної картинки" випробувань на тлі цих малих відкладень.

Список використаних джерел

1. Свідоцтво № 107885 Україна про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру «Робочий звіт щодо підсумків виробничих випробувань тестових приладів електронної водопідготовки «Hydroflow Industrial (test)» на

теплообмінниках охолодження дистиляту 0TR50W02 (ОБ'ЄКТ “0”) та 0TR70W02 (ОБ'ЄКТ “+”) СК-1 ХЦ ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» / О. В. Бережецький, В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан. № с202185860; заявл. 17.08.2021; зареєстр. 08.09.2021; опубл. 30.11.2021. Бюл. № 67. URL: http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/15457 (дата звернення: 03.08.2021).

2. Гребень В. В., Хильчевский В. К. Современный водный режим рек Украины. *Материалы VII Всероссийского гидрологического съезда* (г. Санкт-Петербург, 19-23.11.2013 г.). Опт. диск CD-ROM, сек. 4, тема 4.4, доклад № 47.

3. Протасов А. А., Панасенко Г. А., Бабарига С. П. Биологические помехи в эксплуатации энергетических станций, их типизация и основные гидробиологические принципы ограничения. *Гидробиологический журнал*. 2008. Т. 44, № 5. С. 36-53.

4. Novel biofilm control measures to prevent corrosion and biofouling in cooling water systems of nuclear power plants / Rani P. George et al. *Journal of Biotechnology & Biomaterials.* 2012. Vol. 2, № 6. DOI: 10.4172/2155-952X.S1.015.

5. Гринин А. С., Новиков В. Н. Экологическая безопасность. Защита территории и населения при чрезвычайных ситуациях. Москва: ФАИР-ПРЕСС, 2000. 336 с.

6. Атомные электрические станции и их оборудование - системы технического водоснабжения. URL: https://leg.co.ua/arhiv/generaciya/atomnye-elektricheskie-stancii-i-ih-oborudovanie-15.html (дата обращения: 15.09.2021).

7. Müller-Steinhagen H. C4 Fouling of Heat Exchanger Surfaces. *VDI Heat Atlas.* Springer, 2010. P. 79-104. DOI: 10.1007/978-3-540-77877-6_7.

8. Bell K. J., Mueller A. C. Fouling in Heat Exchangers. *Wolverine Engineering Data Book II*. Wolverine Division of UOP Inc, 1984. P. 45-57.

9. Grijspeerdt K., Hazarika B., Vucinic D. Application of computational fluid dynamics to model the hydrodynamics of plate heat exchangers for milk processing. *Journal of Food Engineering*. 2003. Vol. 57, № 3. P. 237–242. DOI: 10.1016/S0260-8774(02)00303-5.

10. Negative streamwise velocities and other rare events near the wall in turbulent flows / P. Lenaers et al. *Journal of Physics: Conference Series.* 2011. Vol. 318, № 2. P. 1-10. DOI: 10.1088/1742-6596/318/2/022013.

11. Свідоцтво № 107883 Україна про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру «Акт огляду трубопроводів подачі води на систему мокрого газоочищення (МГО) відпрацьованого газу технологічної лінії №1 дільниці обпалення цеху з виробництва окатків (ЦВО) ПрАТ «Полтавський ГЗК» / О. В. Бережецький, В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан. №с202105858; заявл. 17.08.2021; зареєстр. 08.09.2021; опубл. 30.11.2021. Бюл. № 67. URL:

http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/15460 (дата звернення: 03.08.2021).

12. Свідоцтво № 107889 Україна про реєстрацію авторського права на літературний письмовий твір наукового характеру «Робочий звіт щодо підсумків виробничих випробувань тестового приладу електронної водопідготовки «HydroFLOW» на системі охолодження маслованни підшипнику та електродвигуна насосної станції № 20 бризкальних басейнів циркуляційної системи ВП «Запорізька АЕС» ДП «НАЕК «ЕНЕРГОАТОМ» / О. В. Бережецький, В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан. №с 202185873, заявл. 17.08.2021; зареєстр. 08.09.2021; опубл. 30.11.2021. Бюл. № 67. URL: https://sis.ukrpatent.org/uk/search/detail/1664715/ (дата звернення: 03.08.2021).

Стаття надійшла до редакції 5.12.2021 р.

V. Kyurchev [1], S. Movchan [1], O. Berezheczkyi [2], V. Vavrykovych [3]
[1]dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
[2] Limited Liability Company "SAV KOMPLEKT"
[3]Ltd Liability Company "Hydroflow

ASSESSMENT OF STATUS ON WORKERS METAL SURFACES OF WATER COOLING SYSTEM REVERSE HEAT SUPPLY

Summary

In industrial conditions the device "Hydroflow Industrial (test)" in system of water cooling of circulating heat supply is tested. The tests were carried out in a wide range of temperature differences between oil, water and steam and showed the reliability, efficiency and duration of the processes of protection and control of carbonate deposits, scale, biofouling on the working surfaces of pipes and equipment.

The obtained results clearly proved the efficiency of electronic water treatment, which improves the operation of all equipment as a whole, reduces hydraulic loads, prevents the formation of deposits on the inner working surfaces of heat exchange equipment, significantly increases the operating time of all process equipment and its individual units.

Device for processing liquid in the pipeline, comprising the first and second main elements of the magnetic conductive material, adapted for attachment to the pipeline to surround the same in remote positions across; and means for generating radio frequency magnetic fluxes in these main elements, for generating appropriate electromagnetic fields in the liquid to be treated and passing along the pipeline

Achieve significant improvement of water cooling and drainage processes, reduction of heat load on equipment, increase of economic efficiency and energy saving in operation of main and auxiliary production equipment in metallurgy, significant reduction of repair costs, reduction of labor costs and increase of repair periods.

The researches of the electronic water treatment device in the circulating heat supply system for the cooling system of the bearing oil and the electric motor of the

pumping station of the spray pools of the circulation system clearly proved the efficiency of water preparation for the circulating heat supply system.

Key words: recirculating water supply, heat and water supply, water cooling system, electronic water treatment, energy and water consumption,

В. Н. Кюрчев[1], С. И. Мовчан[1], А. В. Бережецкий[2], В. М. Ваврикович[3]
[1]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного
[2]Общество с ограниченной ответственностью «САВ КОМПЛЕКТ»
[3]Общество с ограниченной ответственностью «Гидрофлоу»

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОТЛОЖЕНИЙ НА РАБОЧИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОВЕРХНОСТЯХ СИСТЕМЫ ВОДООХЛАДЖЕНИЯ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЯ

Аннотация

В промышленных условиях апробирован прибор «Hydroflow Industrial (test)» в системе водоохлаждения оборотного тепловодоснабжения. Испытания проведены в широком диапазоне температур масла, воды и пара и показали надежность, эффективность и продолжительность процессов защиты и борьбы с карбонатными отложений, накипью, биообрастания на рабочих поверхностях труб и оборудования. Полученные результаты наглядно доказали эффективность электронной водоподготовки, которые улучшают работу всего оборудования в целом, уменьшают гидравлические нагрузки, предотвращают образование отложений на внутренних рабочих поверхностях теплообменного оборудования, значительно увеличивают время работы всего технологического оборудования и отдельных его составляющих единиц и элементов. Достижения существенного улучшения процессов водоохлаждения и теплоотвода, уменьшение тепловой нагрузки на оборудование, повышение экономической эффективности и энергосбережения при эксплуатации основного и вспомогательного производственного оборудования.

Ключевые слова: оборотное водоснабжение, тепловодоснабжения, система водоохлаждения, электронная водоподготовка, энерго- и водопотребления,

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-2

УДК 621.867

С. І. Пастушенко[1], д.т.н. ORCID: 0000-0002-1996-3558
М. Б. Клендій[1], к.т.н. ORCID: 0000-0001-8271-5381
О. М. Троханяк[2], к.т.н. ORCID: 0000-0002-4671-5824
[1]*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»*
[2]*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
e-mail: klendiy@ukr.net

ДОСЛІДЖЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ ГВИНТОВОГО КОНВЕЄРА З ЛОПАТЕВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Анотація. У статті досліджено вплив параметрів транспортування сипкого матеріалу та конструктивних параметрів конвеєра з лопатевим робочим органом на величину крутного моменту. Як альтернативу гвинтовому транспортуючому органу у вигляді гелікоїда розглянуто каскадний транспортуючий орган у вигляді плоских лопатей, окреслених по еліпсу. Каскадний (лопатевий) робочий орган почергово транспортує частинку з однієї лопаті на іншу, переміщуючи її, чи піднімаючи її на потрібну висоту. Проведено повнофакторний експеримент з визначення залежності крутного моменту від зміни трьох основних факторів: внутрішнього діаметра труби D, коефіцієнта заповнення конвеєра ψ та частоти обертання лопатевого робочого органу n, побудовані аналітичні регресійні рівняння та поверхні відгуку.

Встановлено, що запропонований лопатевий робочий орган може конкурувати з гвинтовим робочим органом у перевантажувальних конвеєрах завдяки технологічності конструкції та простоті виготовлення.

Ключові слова: гвинтовий конвеєр, лопатевий робочий орган, крутний момент, внутрішній діаметр труби, коефіцієнт заповнення конвеєра, частота обертання лопатевого робочого органу, рівняння регресії.

Постановка проблеми. Створення нових і удосконалення існуючих конструкцій транспортно-технологічних сільськогосподарських машин сприяє розвитку виробництва продукції, модернізації та механізації

© С. І. Пастушенко, М. Б. Клендій, О. М. Троханяк

технологічних процесів, підвищенню продуктивності праці. Гвинтові робочі органи транспортно-технологічних машин – складова комплексної механізації й автоматизації виробництва. Від раціонального вибору окремих типів цих механізмів та їх конструктивних параметрів залежить високопродуктивна робота підрозділів і підприємств у цілому.

Тому на даний час основним завданням при створенні та обґрунтуванні параметрів нових конструкцій транспортно-технологічних сільськогосподарських машин і їх робочих органів, які забезпечують розширення технологічних можливостей, є розроблення таких конструкцій, які б забезпечили зменшення енерго- і матеріальних ресурсів з покращеними умовами їх експлуатації, широку багатофункціональність, механізацію й автоматизацію виробничих процесів, високу продуктивність, безвідмовність, ремонтопридатність, можливість їх комплектування на базі модульного принципу.

Аналіз останніх досліджень. Найбільш дослідженим є рух частинок по горизонтальній площині у вигляді шорсткого диска, який обертається навколо вертикальної осі. Використання таких дисків із прикріпленими до них лопатками має місце у розсіювальних апаратах відцентрового типу. Робочі органи із горизонтальною віссю обертання у вигляді валу і прикріпленими до нього плоскими лопатками використовуються для розкидання органічних добрив. Вони можуть також служити для перемішування частинок або метання їх у відцентровому напрямі. Цікавим з теоретичної точки зору і можливості практичного застосування є дослідження закономірностей руху матеріальних частинок по кромці похилої площини у вигляді еліпса, яка обертається навколо осі вертикального обмежуючого циліндра.

Складний рух частинок по шорстких поверхнях робочих органів сільськогосподарських машин розглянуто в фундаментальних працях [1, 2]. В них досліджено рух частинки по горизонтальному диску, що обертається навколо вертикальної осі, як без лопаток, так і з лопатками найпростіших конструкцій. В праці [3] розглянуто рух частинки по плоскому диску, який обертається навколо осі, нахиленої до горизонту. Досліджено закономірності руху частинки по диску як без лопаток, так і з прямолінійними лопатками, розташованими в радіальному напрямі від осі обертання. Дослідження, подібні до наших проведені в праці [4]. В ній досліджено відносний рух частинки в широкому діапазоні кутів нахилу площини до осі обертання, починаючи із горизонтального положення і закінчуючи вертикальним. Розробку лопатевого робочого органу транспортера-змішувача розглянуто в праці [5].

Формулювання мети статті. Метою дослідження було встановлення впливу параметрів транспортування сипкого матеріалу та конструктивних параметрів конвеєра з лопатевим робочим органом на величину крутного моменту.

Основна частина. Як альтернативу гвинтовому транспортуючому органу у вигляді гелікоїда розглянуто каскадний транспортуючий орган у вигляді плоских лопатей, окреслених по еліпсу (рис. 1).



Рисунок 1. Каскадний (лопатевий) робочий орган

Теоретичні дослідження показали, для повного обертання частинки по еліпсу потрібно забезпечити кутову швидкість ω обертання лопатевого органу. Тоді частинка починає ковзати по еліпсу, проходячи по черзі найнижчу і найвищу точки. Роль коефіцієнта тертя f частинки по поверхні лопаті і f_R – по поверхні обмежувального циліндра, аналогічна гвинтовому робочому органу. Тобто для ефективного підйому матеріалу, необхідно зменшувати коефіцієнт тертя f і збільшувати коефіцієнт тертя f_R. Каскадний робочий орган почергово транспортує частинку з однієї лопаті на іншу, піднімаючи її на потрібну висоту. Запропонований каскадний робочий орган може конкурувати з гвинтовим робочим органом у перевантажувальних конвеєрах завдяки технологічності конструкції і простоті виготовлення.

Для проведення досліджень виготовлено каскадний робочий орган та стендове обладнання для дослідження робочих органів гвинтових конвеєрів.

Схема стенду для дослідження гвинтових конвеєрів (рис. 2) виконано у вигляді рами 1, на яку жорстко встановлено циліндричну трубу 2, в середині якої встановлено гвинтовий робочий орган – вал 3 в якому по його довжині виконано рівномірно збільшений крок гвинтової канавки 4 шириною більшою товщини гвинтової спіралі 5 в сторону подачі сипкого матеріалу. Крім цього в тілі валу по периферії гвинтової канавки 4 виконані конусні призматичні отвори 6 рівномірно по довжині з неробочої сторони спіралі 5. Конусні призматичні отвори є у взаємодії з клинами 7, які також є у взаємодії з основою спіралі 5 по її довжині з неробочої сторони, яка жорстко закріплена до валу 3 клинами 7 за допомогою гвинтів 8, які загвинчені в тіло валу перпендикулярно до його поверхні по центру клинів.

При цьому вал 3 під'єднаний до валу електродвигуна 9, який в свою чергу під'єднаний до перетворювача частот 10 відомої конструкції, який під'єднаний до персонального комп'ютера 11 для заміру витрат електроенергії в електродвигуні в залежності від зусилля транспортування.

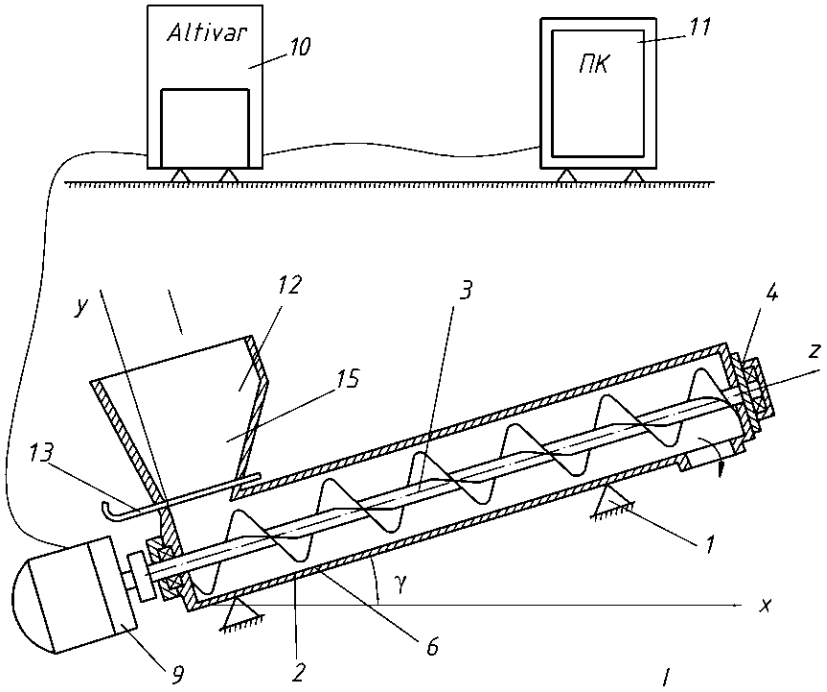


Рисунок 2. Схема стенду для дослідження гвинтових конвеєрів

Для дослідження навантаження гвинтового конвеєра використовують бункер 12 з шибером 13, лопатевий робочий орган, який розташований в транспортній циліндричній трубі 2 під кутом до горизонту. Лопатевий робочий орган приводиться в рух електродвигуном 9, а сигнали на його керування подаються з персонального комп'ютера 11 через перетворювач частоти 10, давач частоти обертання валу 14 електродвигуна, який підключений до перетворювача частоти 10 і персонального комп'ютера 11.

На рис. 3 представлено загальний вигляд конвеєра (а), в якому для транспортування сипких матеріалів використовується лопатевий робочий орган (б).



а б

Рисунок 3. Гвинтовий конвеєр з лопатевим робочим органом

Дослідження величини крутного моменту, який передається гвинтовим конвеєром, здійснюють наступним чином. Запускають програмне забезпечення в персональному комп'ютері 11 для управління процесом і подають сигнал на відповідну частоту обертання двигуна 9. Сипкий матеріал 15 з бункера 12 через відкритий шибер 12 подається у досліджуваний стенд. Далі матеріал переміщається, а дані про величину навантаження на гвинтовий робочий орган фіксуються у персональний комп'ютер 11.

До переваг стенда відноситься розширення технологічних можливостей, зменшення зусилля транспортування, а також можливість проведення досліджень гвинтових конвеєрів в автоматизованому режимі керування і підвищення продуктивності дослідних операцій.

Для визначення впливу параметрів транспортування сипкого матеріалу та конструктивних параметрів конвеєра на величину крутного моменту (параметр оптимізації *T*), проведено повнофакторний експеримент ПФЕ - 3^3, тобто визначення залежності крутного моменту від зміни трьох основних факторів: внутрішнього діаметра труби *D*, *м*, коефіцієнта заповнення конвеєра ψ та частоти обертання лопатевого робочого органу n, *об/хв*, тобто $T=f(D, \psi, n)$.

Оскільки, під час проведення експериментів змінні незалежні фактори неоднорідні та мають різні одиниці вимірювання, а числа, що виражають значення цих факторів – різні порядки, то їх приводили до єдиної системи обрахунків шляхом переходу від дійсних значень до кодованих, що представлено в таблиці 1.

Дослідження крутного моменту на привідній зірочці дали змогу визначити залежність потужності від багатьох чинників, що характеризують процес, а саме:

- внутрішнього діаметра труби *D*, м, який кодували індексом x_1;

- коефіцієнта заповнення ψ який кодували індексом x_2;

- частота обертання лопатевого робочого органа, *n*, об/хв, який кодували індексом x_3.

Дослідження із визначення крутного моменту конвеєра з лопатевим робочим органом проводились при транспортуванні таких матеріалів з відповідною об'ємною масою: горох –700 кг/м^3; пшениця – 760 кг/м^3; кукурудза – 800 кг/м^3; висівки – 250 кг/м^3 з вологістю, яка становить W =12…15%, що дозволило побудувати аналітичні регресійні рівняння.

Оброблення отриманих даних експериментального масиву проведено за загальновідомими методиками та методами статистичного оброблення з використанням загальновідомих методик кореляційного та регресійного аналізу для отримання у кінцевому

результаті емпіричних рівнянь регресії [7]. Для отримання регресійної моделі параметра оптимізації, вибирали відповідний план повнофакторного експерименту, реалізацію якого проводили у відомій послідовності.

Таблиця 1

Результати кодування факторів та рівні їх варіювання при дослідженні крутного моменту

Фактори	Позначення		Інтерв. варіюв.	Рівні варіювання, натур./кодовані		
	Код.	Натур.				
Внутрішній діаметр труби D, м	X_1	x_1	0,02	0,06/-1	0,08/0	0,1/+1
Коефіцієнт заповнення конвеєра, ψ	X_2	x_2	0,2	0,3/-1	0,5/0	0,7/+1
Частота обертання лопатевого робочого органу, n, об/хв	X_3	x_3	250	200/-1	400/0	600/+1

Функцію відгуку (параметр оптимізації), тобто крутний момент $T^i = f(D,\psi,n)$, визначено експериментальним шляхом і представлено у вигляді математичної моделі повного квадратичного полінома [7]:

$$T = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + \\ + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 + b_{33}x_3^2, \quad (1)$$

де $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{11}, b_{22}, b_{33}$ – коефіцієнти відповідних значень x_i; x_1, x_2, x_3 – відповідні кодовані фактори.

Величини передавання максимального крутного моменту для різних сипких матеріалів на експериментальній установці:

$$T_{горох} = -9{,}94 - 67{,}67\psi - 0{,}0706n - 0{,}08\psi n + 41{,}75\psi^2 + 0{,}00068n^2 - \\ -462{,}5D^2 - 0{,}102Dn + 673D\psi + 71{,}5D \quad (2)$$

$$T_{пшениця} = -12{,}23 - 71{,}23\psi - 0{,}057n + 745D\psi - 0{,}081Dn - 0{,}068\psi n + \\ +0{,}000552n^2 - 491D^2 + 44{,}5\psi^2 + 75{,}6D \quad (3)$$

$$T_{кукурудза} = -10{,}07 - 0{,}0723n - 65{,}2\psi + 39{,}75\psi^2 + 0{,}00064n^2 - 472{,}5D^2 - \\ -0{,}0818\psi n + 726D\psi - 0{,}101Dn + 71{,}1D \quad (4)$$

$$T_{комбікорм} = -9{,}17 - 68{,}29\psi - 0{,}0663n - 0{,}045\psi n + 0{,}000576n^2 + 41\psi^2 - \\ -457{,}5D^2 + 713D\psi - 0{,}0909Dn + 68{,}6D \quad (5)$$

На рисунках 4 - 7 зображено графічні залежності крутного моменту гвинтового конвеєра з лопатевим робочим органом від внутрішнього діаметра $D=0{,}06...0{,}1$ *м*, коефіцієнта заповнення ψ

=0,3…0,7 при кількості обертів лопатевого робочого органа *n=200….600 об/хв*.

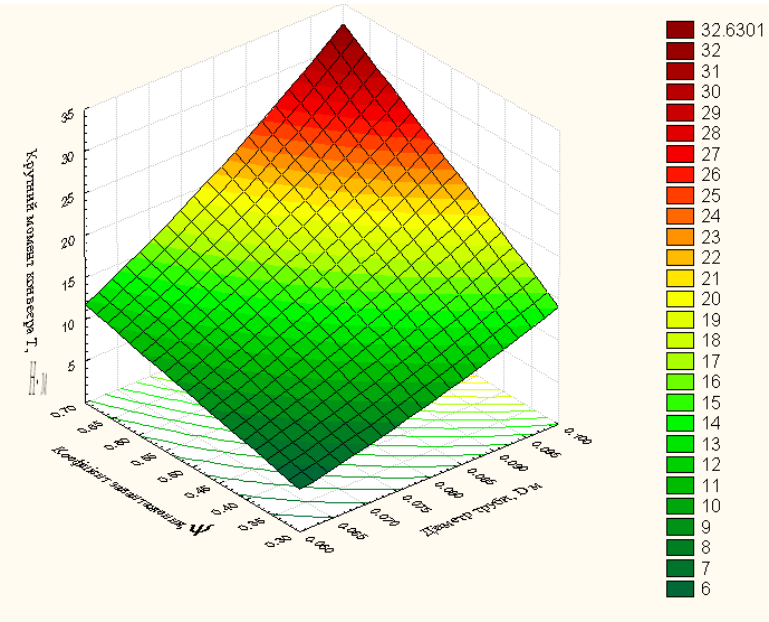


Рисунок 4. Залежність крутного моменту транспортування кукурудзи конвеєром з лопатевим робочим органом $M_{\varphi,D}^{Кукурудза}$ від внутрішнього діаметра труби *D* і коефіцієнта заповнення ψ при частоті обертання лопатевого робочого органу *n=200…600 об/хв*

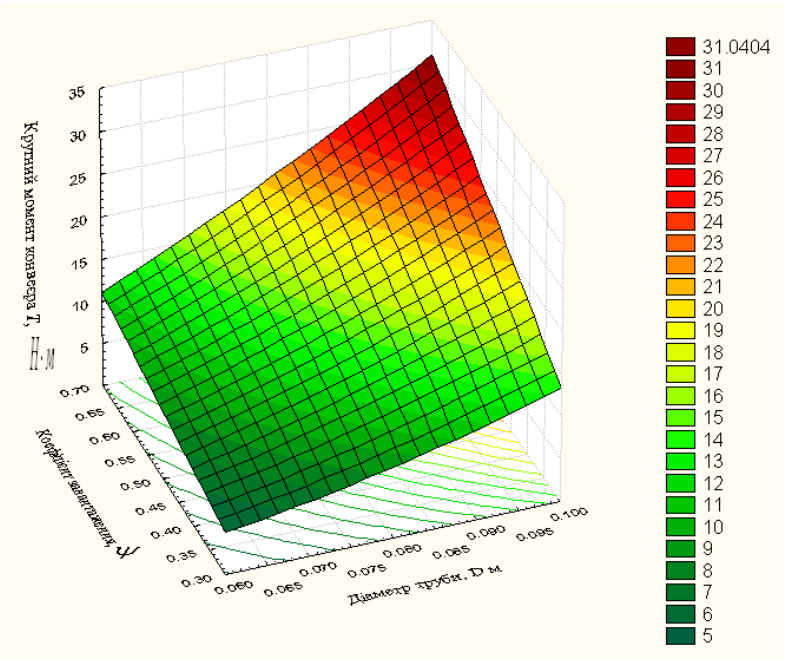


Рисунок 5. Залежність крутного моменту транспортування пшениці конвеєром з лопатевим робочим органом $M_{\psi,D}^{Пшениця}$ від внутрішнього діаметра труби *D* і коефіцієнта заповнення ψ при частоті обертання лопатевого робочого органу *n=200…600 об/хв*

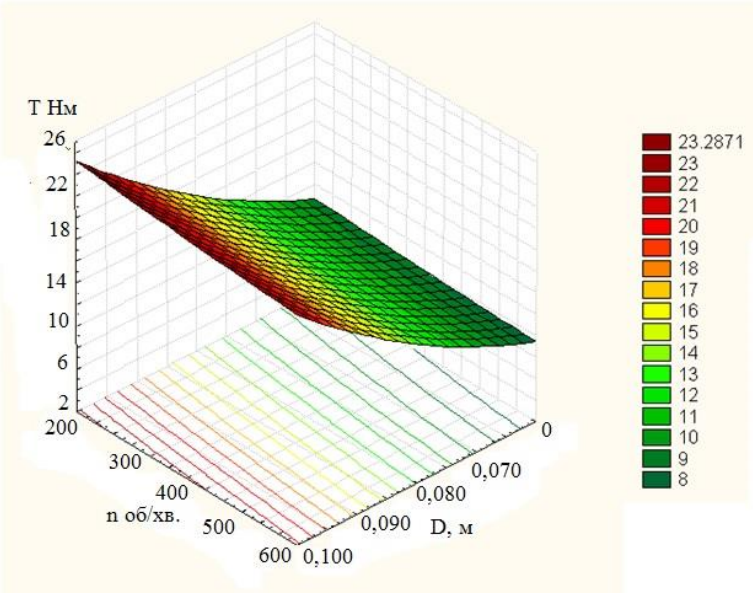


Рисунок 6. Залежність крутного моменту транспортування гороху конвеєром з лопатевим робочим органом $M_{v,D}^{горох}$ від внутрішнього діаметра труби D і частоти обертання лопатевого робочого органу n при коефіцієнті заповнення $\psi=0,5$

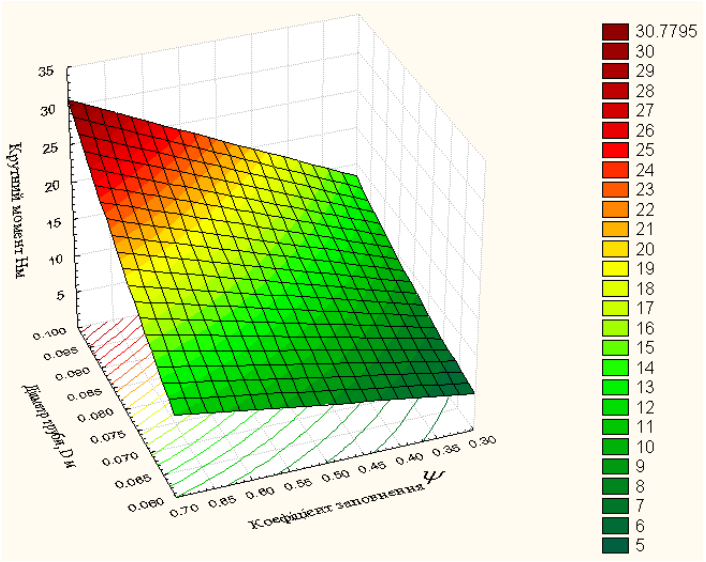


Рисунок 7. Залежність крутного моменту транспортування комбікорму конвеєром з лопатевим робочим органом $M_{D,\psi}^{комбікорм}$ від внутрішнього діаметра труби D і коефіцієнта заповнення ψ при частоті обертання лопатевого робочого органу $n=200...600$ *об/хв*

Зерна кукурудзи через значні розміри в меншій мірі попадають між поверхнею робочого органу і поверхнею труби ніж при транспортуванні висівки, які попадають в зазор між внутрішньою поверхнею труби і зовнішньою поверхнею робочого органу, що досить гальмує процес транспортування, а при транспортуванні пшениці енерговитрати є найбільшими, оскільки еліпсоподібна форма зерна

утворює так званий ефект заклинювання лопатевого робочого органу, коли частина зерен попадає в зазор між робочим органом і трубою.

З рис. 4 -7 видно, що із збільшенням внутрішнього діаметра труби *D=0,1м* та при кількості обертів робочого органу *n*=600 *об/хв* і коефіцієнті заповнення $\psi = 0,5$ крутний момент зменшується для транспортування сипких матеріалів (кукурудза, горох, пшениця, висівки).

Висновки. Розроблено каскадний робочий орган, який може конкурувати з гвинтовим робочим органом у перевантажувальних конвеєрах, завдяки технологічності конструкції і простоти виготовлення. На основі проведеного комплексу експериментальних досліджень транспортно-технологічної сільськогосподарської машини з лопатевим робочим органом виведено регресійні залежності для визначення крутного моменту транспортування сільськогосподарських матеріалів. Встановлено, що найбільший вплив на момент транспортування мають внутрішній діаметр *D* труби, коефіцієнт заповнення ψ і частота обертання *n* лопатевого робочого органу.

Список використаних джерел

1. Василенко П. М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. Киев: УАСХН, 1960. 283 с.

2. Заика П. М. Избранные задачи земледельческой механики. Киев: УСХА, 1992. 507 с.

3. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Войтюк Д. Г., Пилипака С. Ф. Дослідження руху частинки по плоскому диску, який обертається навколо перпендикулярної осі, нахиленої до горизонту. *Вісник ЛНАУ: агроінженерні дослідження.* Львів, 2008. № 12 (2). С. 189–197.

4. Адамчук В. В., Булгаков В. М., Пилипака С. Ф., Франчак Ян. Дослідження відносного руху матеріальної частинки по похилій лопатці відцентрового апарата. *Науковий вісник Луганського національного університету. Сер. Технічні науки*. Луганськ, 2011. № 29. С. 32–56.

5. Клендій М. Б. Розробка конструкції та обґрунтування параметрів лопатевого транспортера-змішувача. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 2005. Вип. 92, ч. 2. С. 533–540.

6. Робочий орган транспортера: пат. 3843 Україна: МПК (2004.01) B65G33/16 / Р. Б. Гевко, М. Б. Клендій. № u 2004032157; заявл. 23.03.2004; опубл. 15.12.2004. Бюл. № 12.

7. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. Москва: Наука. 1976. 279 с.

8. Pylypaka S. F., Klendii M. B., Nesvidomin V. M., Trokhaniak V. I. Particle motion over the edge of an inclined plane that performs axial movement in a vertical limiting cylinder**.** *Acta Polytechnica.* 2019. Vol. 59, № 1. P. 67-76. DOI: 10.14311/AP.2019.59.0067.

9. Pylypaka S., Klendii M., Klendii O. Particle motion on the surface of a concave soil-tilling disk. *Acta Polytechnica*. 2018. Vol. 58, № 3. P. 201-208. DOI: 10.14311/AP.2018.58.0201.

10. Pylypaka S., Nesvidomin V., Zaharova T., Pavlenko O. The investigation of particle movement on a helical surface. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2020. P. 671-681. DOI: 10.1007/978-3-030-22365-6_67.

11. Loveikin V. S., Romesevych Yu. O. Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. *Науковий вісник НГУ*. 2017. № 4. С. 55-61.

12. Bulgakov V., Pilipaka S., Adamchuk V., Olt J. Theory of motion of a material point along a plane curve with a constant pressure and velocity. *Agronomy Research*. 2014. № 12(3). P. 937–948.

13. Пилипака С. Ф., Захарова Т. Н., Несвидомин А. В. Forma osi gibkoy neszhimaemoy polosi pri ee tolkanii po naklonnoy sherohovatoy ploskosti s postoyannoy skorostyu. *MOTROL*. 2013. Vol. 15, № 4. P. 198–205.

14. External rolling of a polygon on closed curvilinear profile / S. F. Pylypaka et al. *Acta Polytechnica*. 2020. Vol. 60, № 4. P. 313-317. DOI: https://doi.org/10.14311/AP.2020.60.0313.

15. Hevko R. B., Zalutskyi S. Z., Tkachenko I. G., Klendiy O. M. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2015. Vol. 46, № 2. P. 133-138.

16. Hevko R. B., Klendii M. B., Klendii O. M. Investigation of a transfer branch of a flexible screw conveyer. *INMATEH: Agricultural Engineering.* 2016. Vol. 48, № 1. P. 29-34.

Стаття надійшла до редакції 9.10.2021 р.

S. Pastushenko[1], M. Klendii[1], O. Trokhaniak[2]
[1]Separate subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Brzezany Agrotechnical Institute"
[2]National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

RESEARCH OF VANE WORKING BODY SCREW CONVEYOR TORQUE VALUE

Summary

Article investigates influence of powdered material transportation parameters and conveyor vane working body constructive parameters on the torque value. The conveying

body form of flat blades, outlined on an ellipse is considered as an alternative to a helical conveying body. The cascade (paddle-shaped) transporting organ alternately transports a particle from one blade to another, moving it, raising it to the desired height. A full-factor experiment has been carried out in order to determine the dependence of the torque on three main factors: the internal diameter of the pipe D, the conveyor filling factor ψ and the vane working body rotation frequency n, analytical regression equations and the response surfaces have been constructed. Corn grains, due to their large size, get less between the surface of the working body and the surface of the pipe than when transporting bran, which fall into the gap between the inner surface of the pipe and the outer surface of the working body, which slows down the transportation process. the elliptical shape of the grain forms the so-called jamming effect of the blade working body, when part of the grains falls into the gap between the working body and the pipe. It is established that with the increase of the inner diameter of the pipe $D = 0.1\ m$ and at the number of revolutions of the working body $n = 600rpm$ and the filling factor $\psi = 0.5$ torque decreases for the transportation of bulk materials (corn, peas, wheat, bran).

It has been revealed that the suggested blade working device can compete with the screw working device in unloading conveyors due to its technological effectiveness and simplicity of manufacturing.

Key words: screw conveyor, vane working body, torque, inner diameter of the pipe, conveyor filling factor, rotational frequency of the vane working body, regression equation.

С. И. Пастушенко [1], М. Б. Клендий [1], А. Н. Троханяк [2]
[1]Обособленное подразделение Национального университета биоресурсов и природопользования Украины «Бережанский агротехнический институт»
[2]Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины

ИССЛЕДОВАНИЕ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ВИНТОВОГО КОНВЕЙЕРА С ЛОПАСТНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Аннотация

В статье исследовано влияние параметров транспортировки сыпучего материала и конструктивных параметров конвейера с лопастным рабочим органом на величину крутящего момента. В качестве альтернативы винтового транспортирующего органа в виде геликоида рассмотрено каскадный транспортирующий орган в виде плоских лопастей, очерченных по эллипсу. Каскадный (лопастной) рабочий орган поочередно транспортирует частичку из одной лопасти на другую, перемещая ее, поднимая ее на нужную высоту. Проведено полнофакторный эксперимент по определению зависимости крутящего момента от изменения трех основных факторов: внутреннего диаметра трубы D, коэффициента заполнения конвейера ψ и частоты вращения лопастного рабочего органа n, построенные аналитические регрессионные уравнения и поверхности отклика.

Установлено, что предложенный лопастной рабочий орган может конкурировать с винтовым рабочим органом в перегрузочных конвейерах благодаря технологичности конструкции и простоте изготовления.

Ключевые слова: винтовой конвейер, лопастной рабочий орган, крутящий момент, внутренний диаметр трубы, коэффициент заполнения конвейера, частота вращения лопастного рабочего органа, уравнение регрессии.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-3

УДК 631.333

О. Г. Скляр, к.т.н. ORCID: 0000-0002-0456-2479
Р. В. Скляр, к.т.н. ORCID: 0000-0002-1547-5100
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

БІОКОНВЕРСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИСКОРЕНОЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ ТВАРИННИЦТВА В ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ДОБРИВА

Анотація. В статті розглянуто дві технології прискореної переробки сільськогосподарських відходів, об'єднаних на основі взаємного використання біоконверсної енергії з метою зниження енергетичних та ресурсних витрат на ведення аеробних та анаеробних процесів. Запропоновано реалізацію гіпотези, яка полягала в максимальному наближенні процесів розкладання органічної речовини до тих процесів, що відбуваються в результаті функціонування природних екосистем з отриманням більш-менш адекватних за якісними показниками та властивостями продуктів. Відмінною особливістю створюваних технологій є те, що трансформація органічної речовини відбувалася у штучних умовах без впливу ґрунту та його мікрофлори. Разом з тим у створюваних процесах використовувались аналогічні фактори, що дозволили прискорити розкладання органіки.

Ключові слова: анаеробне зброджування, біоконверсні технології, компостування, органічне добриво, відходи, технологічна схема.

Постановка проблеми. Постійно зростаюча потреба у сільськогосподарських продуктах споживання, зокрема рослинництва та тваринництва, зумовлює необхідність створення наукомістких екологічно безпечних технологій [1-3] та технічних засобів інженерно-технологічного забезпечення цих галузей.

Проаналізуємо деякі питання вирішення цієї проблеми, абстрагуючись на замкнутій системі «ґрунт-рослина-тварини-ґрунт». Слід зазначити, що з цієї системи вилучаються не тільки корисні продукти споживання, а й виробляється цілий комплекс різноманітних відходів [3]. В даний час характер поведінки з відходами визначається глобальними

© О.Г. Скляр, Р.В. Скляр

проблемами, пов'язаними з екологічною безпекою щодо кожного із елементів вищезгаданої системи. Крім того, виникає низка проблем матеріально-технічного та енергетичного забезпечення та, відповідно, витрат як на виробництво корисної продукції, так і на переробку отриманих відходів. Перша ланка системи несе у собі тісний взаємозв'язок між вмістом гумусу, тобто вмістом органічної речовини в ґрунті, та продуктивністю рослин. З цього погляду одним з альтернативних шляхів відновлення та підвищення продуктивності ґрунтів є застосування підготовлених та збалансованих за поживними речовинами органічних добрив. Друга ланка системи має забезпечувати отримання екологічно чистої кормової бази тваринництва. Отже, органічні добрива мають розглядатися як елемент землеробства, який підтримує кругообіг та баланс поживних речовин у екологічних агроценозах. Третя, комплексна ланка, характеризується утворенням, накопиченням, а також подальшою переробкою всіляких відходів рослинництва та тваринництва у продукт, придатний для утилізації у сфері системи, що розглядається.

Аналіз останніх досліджень. У світі існує велика різноманітність технологій та технологічних схем, які впроваджені вітчизняними і закордонними вченими [4-7] та використовуються у різних галузях. Незважаючи на явні відмінності, багато з них базуються на аеробній та анаеробній переробці органічної речовини. Безпосереднє застосування промислових технологій та технічних засобів для компостування [2] або анаеробного зброджування сільськогосподарських відходів економічно недоцільне через високу вартість обладнання, а в більшості випадків взагалі неможливо у зв'язку з непристосованістю робочих органів для роботи з компонентами, які мають зовсім інші властивості, неузгодженість щодо продуктивності, і навіть умовами виробництва.

Для правильної побудови технологічного процесу компостування його слід підрозділяти на кілька стадій [2]. Перша – попередня підготовка компостних сумішей перед компостуванням. Друга – стадія прискореного біотермічного компостування. Ця стадія характеризується високою швидкістю споживання кисню, термофільними процесами, високою здатністю біологічного розкладання летких органічних сполук, підвищеним виділенням вологи та газів. Третя – стадія поступового дозрівання компосту з виконанням процесів сушіння, фракціонування тощо. Ця стадія й у природних процесів розкладання органічних речовин, наприклад, у буртах, штабелях та інших відкритих системах. Її відмінність – низькотемпературні процеси, обмежене споживання кисню, наявність анаеробних зон у структурі. З урахуванням сільськогосподарського виробництва, а також залежно від обсягів відходів, процес прискореного компостування у відповідному виконанні може застосовуватися як для відкритих, так і для закритих систем.

Формулювання мети статті. У зв'язку з цим дуже актуальною є проблема створення безвідходних екологічно безпечних технологій переробки органічних відходів тваринництва (гній, послід, стоки, підстилкові матеріали) спільно з рослинними сільськогосподарськими відходами (солома, трава, стебла тощо) з метою одержання високоякісних добрив з необхідними агротехнічними властивостями.

Основна частина. Одним із реальних шляхів підвищення обсягів виробництва органічних добрив може бути створення та впровадження систем прискореного компостування гною спільно з різноманітними органічними відходами рослинного походження. З технологічної точки зору компостування це керований процес із створенням та підтриманням оптимальних умов для проходження мікробіологічних процесів та мінімізацією термінів переробки відходів у якісний продукт. До факторів, які суттєво впливають на процес компостування, слід відносити вологість вихідної сировини або суміші компонентів, однорідність суміші з наявністю розвиненої пористої структури, збалансовану кількість поживних речовин, температуру та примусову аерацію [2].

Пропонована технологія базується на тому, що саме перші дві стадії можуть бути механізовані та контрольовані, і, що найважливіше, це виправдовується з економічного та екологічного погляду.

Водночас компостування, як процес, вимагає дотримання таких положень:

- необхідна раціональна попередня підготовка збалансованих компостних сумішей;
- створення та підтримання оптимальних умов для проходження мікробіологічних процесів;
- забезпечення завершеності процесу з мінімізацією необхідних енерго- та ресурсозатрат;
- гарантія забезпечення якості кінцевого продукту (компосту, органо-мінерального добрива) агротехнічним вимогам;
- безвідходність виробництва, побудована за відомим принципом «нуль відходів» та його санітарно-гігієнічна та екологічна безпека. Інший технологічний підхід до біоконверсної переробки відходів – анаеробне зброджування гною та стоків, яке також дозволяє отримувати високоякісні органічні добрива та додатково біогаз. Анаеробний процес зброджування [8] ведеться у різних температурних режимах від мезофільного до термофільного. Термофільний процес, як найінтенсивніший, потребує додаткових витрат енергії, зокрема енергії вже виробленого біогазу [9]. З цієї точки зору зниження енергетичних витрат можливе шляхом зменшення обсягів відходів, що переробляються, а також шляхом ведення процесу в більш щадному термотолерантному режимі.

Технології, що розглядаються, в переважній більшості випадків, застосовуються окремо в залежності від діючої системи видалення відходів. Поєднання цих альтернативних технологій у єдину технологічну лінію дозволяє вирішити цілий комплекс завдань [8-10]:

- вироблений біогаз може використовуватися як для власних технологічних потреб анаеробного зброджування (утримання температурного режиму), так і в системі аерації процесу компостування (підігрів холодного повітря і, власне, компостної маси на ранніх стадіях). Певна частина біогазу може використовуватися для сушіння дозрілого компосту з метою доведення його до товарної кондиції з відповідним зменшенням транспортних витрат за рахунок зниження маси;

- компостування як екзотермічний процес вимагає додаткової енергії тільки на першому етапі переробки. Надалі кількість енергії, що вивільняється, в результаті мікробіологічних реакцій, достатньо для підтримки температурних режимів в межах 55 °С - 60 °С. Тепло відпрацьованого повітря із системи аерації може рекуперуватися та використовуватися як для потреб системи компостування, так і для обігріву анаеробних біореакторів;

- осад збродженої маси може використовуватися в системі компостування на етапі змішування компонентів безпосередньо перед компостуванням, а також як зволожуючий компонент у разі зниження вологості суміші компостованої нижче технологічної;

- недостатня кількість вологопоглинаючих компонентів на стадії змішування може бути компенсовано за рахунок рециркуляції частини дозрілого або відсіяного компостного продукту, що пройшов відповідну сушку.

Такий комплекс заходів дозволяє взаємно забезпечувати технологічні процеси енергією, що виробляється (власне енергія біогазу і теплова енергія відпрацьованого повітря системи аерації)

Розробка пропонованих біоконверсних технологій побудована на реалізації гіпотези, яка полягає в максимальному наближенні процесів розкладання органічної речовини до тих процесів, що відбуваються в результаті функціонування природних екосистем з отриманням більш-менш адекватних за якісними показниками та властивостями продуктів [10]. Відмінною особливістю створюваних технологій є те, що трансформація органічної речовини відбувається у штучних умовах без впливу ґрунту та його мікрофлори. Разом з тим у створюваних процесах використовуються аналогічні фактори, що дозволяють прискорити розкладання органіки.

Реалізація поставленої проблеми зображено у вигляді схеми на рисунку 1. Більш детально слід розглянути питання щодо підготовки вихідних компостних сумішей перед компостуванням [2]. З наукової та

виробничої точки зору можуть бути використані кілька технологічних підходів.

1. Додавання вологопоглинаючих компонентів для зниження вологості, наприклад, для зниження вологості безпідстилкового гною.

2. Зволоження базового компонента або суміші органічних відходів у разі недостатньої вологості.

3. Введення органічних компонентів з метою підвищення кількості речовин, що легко розпадаються, а також підвищення енергетичного потенціалу сумішей до початку біотермічного процесу компостування.

4. Використання рециркуляційного компосту чи інших наповнювачів для структурального поліпшення вихідної компостної суміші.

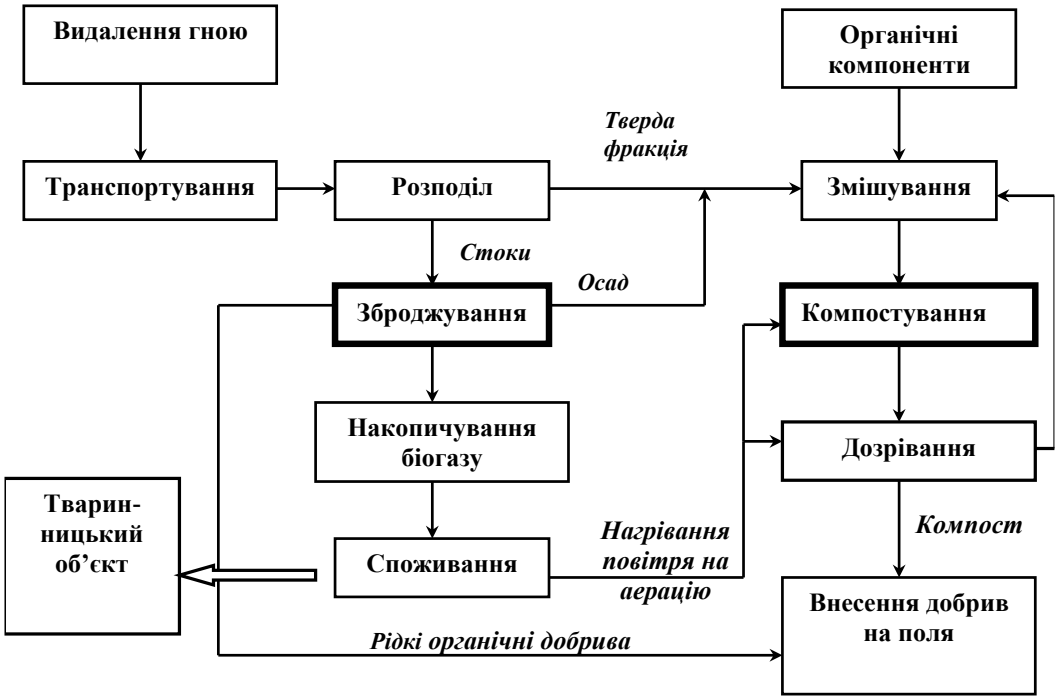


Рисунок 1. Схема біоконверсної переробки відходів

Для створення оптимальних умов проходження мікробіологічних та біотермічних процесів було апробовано наукову гіпотезу, яка полягає в одночасному балансуванні вихідних компостних сумішей за вмістом поживних речовин та технологічною вологістю з подальшим розпушенням до утворення раціональної пористої структури [11].

На першому етапі визначається вологість та вміст органічного вуглецю у сухій речовині передбачуваних компонентів суміші, наприклад гною та соломи. Надалі розраховуються масові пропорції кожного компонента з урахуванням їх фізико-хімічних властивостей.

Алгоритм визначення складу збалансованих компостних сумішей представлений рисунку 2.

Розкриємо суть запропонованого алгоритму. Одночасно з балансуванням суміші за поживними речовинами проводять балансування суміші за вологістю з відносною оцінкою δ розрахункових масових кількостей одного і того ж компонента як вологопоглинач і як енергетичний компонент.

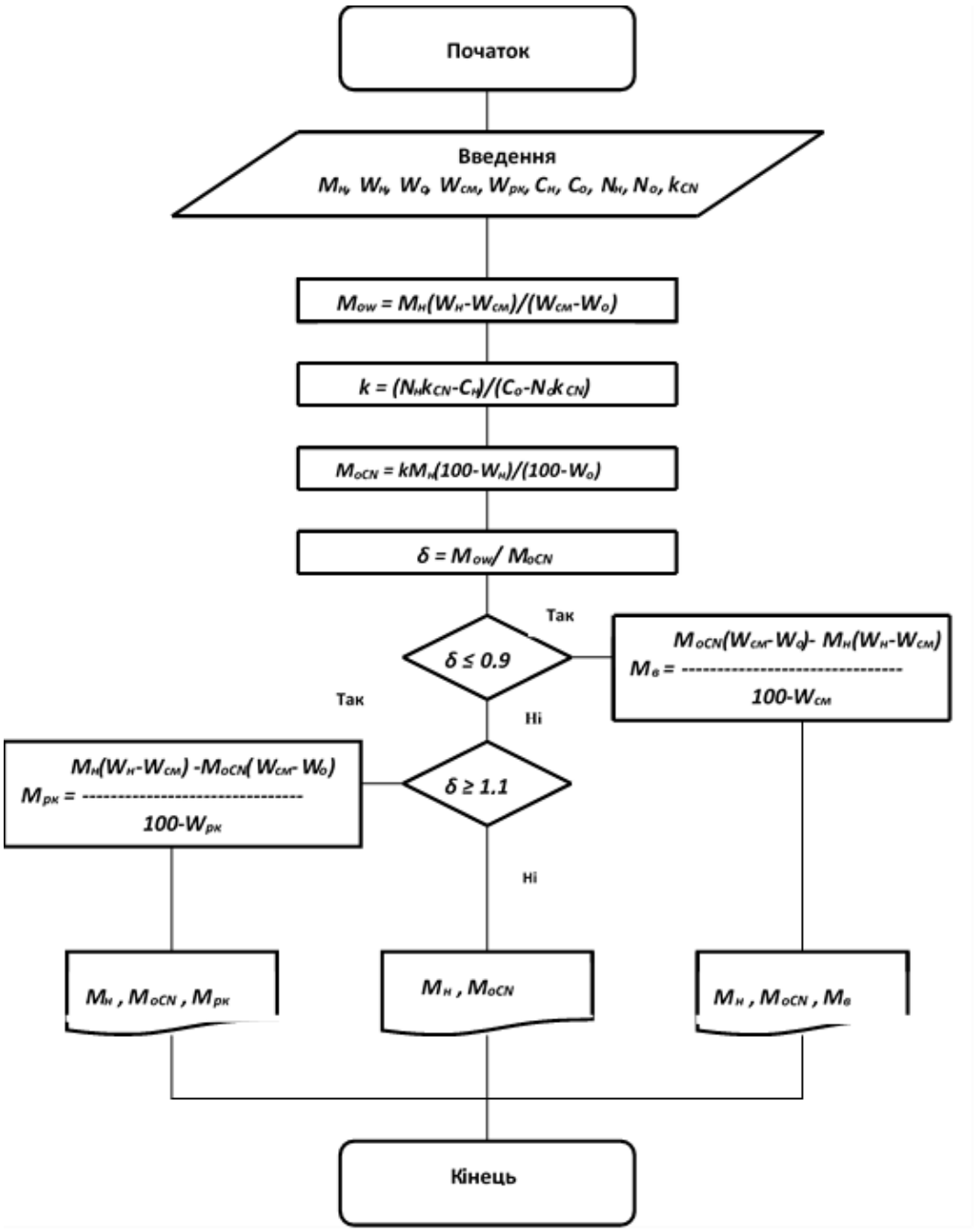


Рисунок 2. Алгоритм визначення складу збалансованих компостних сумішей

Параметр відносної оцінки розраховується за формулою:

$$\delta = M_{ow} / M_{oCN},$$

де M_{ow} - вагова кількість органічного матеріалу (як вологопоглинача) для збалансування вологості суміші, т;
при цьому, M_{ow} визначається за формулою:

$$M_{ow} = M_н (W_н - W_{см}) / (W_{см} - W_o),$$

де $W_н$, W_o - відповідно, вологість гною та органічного компонента, відс.; $W_{см}$ – технологічна вологість компостної суміші, відс.; $M_н$ – вага гною, т.
M_{oCN} - вагова кількість органічного матеріалу (як енергетичного компонента), яка необхідна для балансування суміші по поживним речовинам, т.

У свою чергу M_{oCN} розраховується за формулою:

$$M_{oCN} = k M_г (100 – W_н) / (100 - W_o),$$

де k – поправочний коефіцієнт, який враховує вміст поживних біогенних речовин у гною та в органічному матеріалі:

$$k = (N_н k_{CN} - C_н)/(C_o - N_o k_{CN}),$$

де $N_н$, N_o - вміст азоту в сухій речовині гною та органічному матеріалі, відс.; $C_н$, C_o - вміст вуглецю у сухій речовині гною та органічному матеріалі, відс.; k_{CN} – оптимальне відношення вуглецю та азоту для ефективної життєдіяльності мікроорганізмів.

У разі коли $\delta < 0{,}9$ балансування суміші за вологістю ведуть шляхом зволоження її під час змішування компонентів з додаванням води (стоків, рідкої збродженої маси) у кількості, яка визначається за формулою:

$$M_в = \{ M_{oCN} (W_{см} - W_o) – M_н (W_н - W_{см})\}/ (100 – W_{см}),$$

де $M_в$ - масова кількість води для зволоження суміші, т.

У разі коли $\delta > 1{,}1$ балансування суміші за вологістю проводять шляхом додавання сухого рециркуляційного компосту з попереднім визначенням його вологості. Кількість рециркуляційного компосту розраховується за формулою:

$$M_{рк} = \{ M_н (W_н - W_{см}) - M_{oCN} (W_{см} - W_o) \} / (W_{см} – W_{рк}),$$

де $M_{рк}$ - масова кількість сухого рециркуляційного компосту, т; $W_{рк}$ - вологість сухого рециркуляційного компосту, відс.

Після визначення пропорцій компонентів проводять їх змішування до утворення об'ємної структури з пористістю в межах $0{,}3 \le \varepsilon \le 0{,}6$.

Для змішування, виконання вантажних робіт, зворушення компосту та компостних сумішей розроблено універсальну машину зі змінними робочими органами [12,13] (рис. 3) з представленою в таблиці 1 технічною характеристикою.

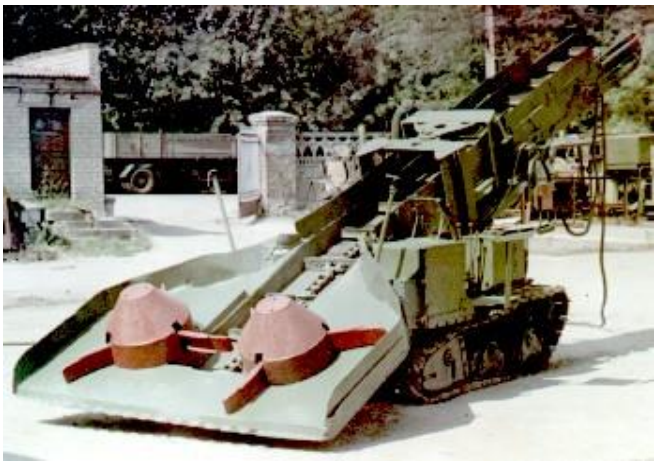


Рисунок 3. Універсальна компостоприготувальна машина

Таблиця 1

Технічна характеристика

Найменування показника	Значення
Продуктивність, м^3/год.	150
Встановлена потужність, кВт	31
Висота навантаження, м	2,45
Кут повороту конвеєра, град.	±30

Процес прискореного компостування здійснюється у біоферментаційній установці (рис. 4), яку обладнано системами примусової аерації компостних сумішей, рекуперації тепла відпрацьованого повітря, пультом контролю за температурним режимом та вмістом кисню у суміші [14], а також управління технологічним процесом.

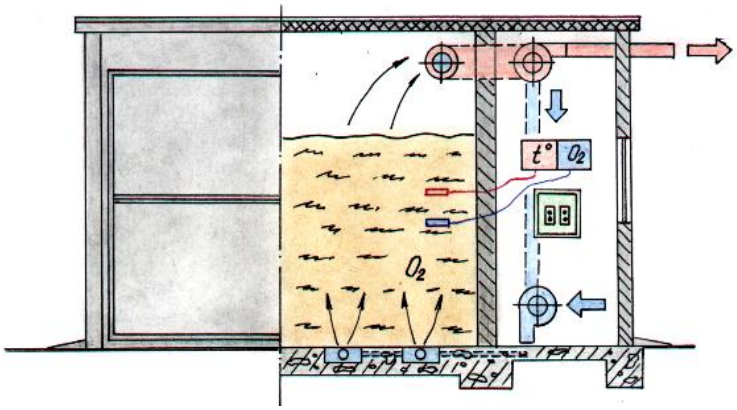


Рисунок 4. Схема біоферментаційної установки для прискореного компостування органічних відходів

Висновки. Запропоновано систему прискореного компостування гною спільно з різноманітними органічними відходами рослинного походження. Вона дозволить знизити енергетичні та ресурсні витрати на ведення аеробних та анаеробних процесів. Також, апробовано наукову гіпотезу, яка полягає в одночасному балансуванні вихідних компостних сумішей за вмістом поживних речовин та технологічною вологістю з подальшим розпушенням до утворення раціональної пористої структури.

Список використаних джерел

1. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research*. Bilbao, Spain 2020. Pp. 431- 433.

2. Скляр О.Г. Обгрунтування факторів, що впливають на процес компостування. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві:* IX Міжнародна науково-технічна конференція. Глеваха-Київ. 2020. С. 143-145.

3. Boltianska N. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education.* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. Pp. 171-176.

4. Скляр О.Г. Дослідження способів утилізації відходів птахівництва і тваринництва. *Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України*: Зб. наукових-праць. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 298-304.

5. Войтов В.А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2019. Вип. 19. Т. 4. С. 100-109. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-100-109.

6. Болтянська Н.І., Комар А.С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.

7. Milko D.O., Pedchenko G.P., Zhuravel D.P., Bratishko V.V. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with

two-phase compaction. INMATEH - *Сельскохозяйственное машиностроение*. 2020. Vol. 60. No. 1. Pp. 269-274. DOI: https://doi.org/10.35633/inmateh-60-30.

8. Skliar R.V. Basic elements of a process line for anaerobic-aerobic treatment of pig complex manufactures. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві:* IX Міжнародна науково-технічна конференція. Глеваха-Київ, 2020. С. 89-91.

9. Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plan. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No2, b. P.183-188.

10. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

11. Спосіб прискореного біотермічного компостування органічних відходів: пат. 8463 Україна: МКИ C05F 17/00. №20041109774; заявл. 29.11.2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.

12.Змішувально-завантажувальний орган компостоприготувальної машини: пат. 8399 Україна: МКИ B65G 65/20.№ 20040907291; заявл. 06/09/2004; опубл. 15.08.2005, Бюл. №8.

13. Boltianska N. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference.* Bordeaux «Social function of science, teaching and learning». Bordeaux, France 2020. Pp. 478-480.

14. Podashevskaya H. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Сб. научн. ст. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

Стаття надійшла до редакції 1.11.2021 р.

A. Skliar, R. Skliar
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

BIOCONVERSE TECHNOLOGIES OF ACCELERATED PROCESSING OF LIVESTOCK WASTE INTO ENVIRONMENTALLY SAFE FERTILIZERS

Summary

Two technologies accelerated processing of agricultural waste, combined on the basis of mutual use of bioconverted energy in order to reduce energy and resource costs for aerobic and anaerobic processes, are considered. The realization of the hypothesis is proposed, which consisted in the maximum approximation of the processes of decomposition of organic matter to those processes that occur as a result of the functioning of natural ecosystems to obtain more or less adequate in terms of quality and properties of products. A distinctive feature of the created technologies is that the transformation of organic matter took place in artificial conditions without the influence of soil and its microflora. At the same time, similar factors were used in the created

processes, which allowed to accelerate the decomposition of organic matter. The scheme of bioconverted waste processing is constructed. In the first stage, the moisture content and the content of organic carbon in the dry matter of the proposed components of the mixture were determined. The mass proportions of each component were calculated taking into account their physicochemical properties. An algorithm for determining the composition of balanced compost mixtures is proposed. Simultaneously with the balancing of the mixture by nutrients, the mixture was balanced by humidity with a relative estimate of the calculated mass amounts of the same component as a desiccant and as an energy component. The process of accelerated composting was carried out in a biofermentation plant, which is equipped with systems of forced aeration of compost mixtures, heat recovery of exhaust air, control panel for temperature and oxygen content in the mixture, as well as process control.

Key words: anaerobic fermentation, bioconversion technologies, composting, organic fertilizer, waste, technological scheme.

А. Г. Скляр, Р. В. Скляр
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

БИОКОНВЕРСНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УСКОРЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА В ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Аннотация

В статье рассмотрены две технологии ускоренной переработки сельскохозяйственных отходов, объединенных на основе взаимного использования биоконверсной энергии с целью снижения энергетических и ресурсных затрат на ведение аэробных и анаэробных процессов. Предложена реализация гипотезы, которая заключалась в максимальном приближении процессов разложения органического вещества к происходящим в результате функционирования природных экосистем с получением более или менее адекватных по качественным показателям и свойствам продуктов. Отличительной особенностью создаваемых технологий является то, что трансформация органического вещества происходила в искусственных условиях без влияния почвы и ее микрофлоры. Вместе с тем в создаваемых процессах использовались аналогичные факторы, позволившие ускорить разложение органики.

Ключевые слова: анаэробное сбраживание, биоконверсные технологии, компостирование, органическое удобрение, отходы, технологическая схема.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-4

УДК 631. 31:001.891.57

Б. А. Волик, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0002-9861-3723
Г. В. Теслюк, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-4541-5720
А. В. Коновий, асп. ORCID: 0000-0002-2155-0795
Є. І. Лепеть, асист.
Дніпровський державний аграрно-економічний університет
volikb@ukr.net 097-072-92-85

МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ НА ПРОЕКТНОМУ ЕТАПІ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ РОБОТИ ҐРУНТООБРОБНОГО ЗНАРЯДДЯ

Анотація. В статті на основі аналізу відомих математичних моделей взаємодії з ґрунтом різного виду ґрунтообробних робочих органів обґрунтована методика аналітичного визначення основних показників якості виконання знаряддям технологічного процесу: прогнозованого тягового опору, якості кришення і розпушення. Обґрунтовані методи сумісного використання аналогового і імітаційного моделювання, теорії внутрішньої напруги. Особливість методики визначення якісних показників кришення полягає в тому, що процес розглядається як імовірнісний і для його описання використаний генератор випадкових чисел (ГВЧ). Наведені рекомендації по адаптації ГВЧ до характеристик виконуваного технологічного процесу. Наведені результати експериментальних досліджень на підтвердження адекватності розробленої моделі.

Ключові слова: ґрунтообробні знаряддя, тяговий опір, кришення, модельні дослідження

*Постановка проблеми***.** Метою розробки нового більш сучасного робочого органу є покращення показників виконання технологічного процесу. Для успішної роботи на проектному етапі необхідно мати критерії оцінки цих показників, які надавали б можливості об′єктивно порівнювати нову і стару конструкції.

В зв′язку з відсутністю натурального зразка розробленого робочого органу, обґрунтування конструктивних параметрів виконують аналітичними методами. Основу складають розрахункова схема і математична модель взаємодії з оброблюваним середовищем. Розрахункова схема як правило являє собою результат власних уявлень

© Б. А. Волик, Г. В. Теслюк, А. В. Коновий, Є. І. Лепеть

розробника на основі аналізу відомих конструкцій [1-4]. Математична модель є методичною основою адаптації розрахункової схеми до умов експлуатації.

Сутність математичної моделі полягає в аналітичному визначенні залежності прогнозованого тягового опору робочого органу і показників якості кришення ґрунту від конструктивних параметрів знаряддя і механіко-технологічних властивостей оброблюваного середовища. Загальновідомі математичні моделі [5,8,10,11] в своїй основі мають конструкцію конкретних робочих органів, тобто вони не є універсальними. Тому існує проблема розробки математичної моделі, яку можна було б розповсюдити на широку гаму робочих органів.

*Постановка проблеми***.** Обґрунтування методики аналітичної оцінки величини тягового опору і якості кришення ґрунту робочим органом довільної геометричної форми.

*Аналіз останніх досліджень***.** Ряд дослідників [5,7,11-14] прийшли до висновку, що проблему визначення тягового опору можна вирішити шляхом диференціації діючих сил. Показовою в цьому плані є математична модель [12].

Сутність моделі полягає в наступному. Робочий орган функціонально поділяється на ріжучий периметр і робочі поверхні. Кромки ріжучого периметру зминають ґрунт і відділяють від загального масиву призму сколу, яка надходить на робочі поверхні Робочі поверхні кришать і розпушують ґрунт. Поверхні сприймають тиск ґрунту, сили тертя і швидкісний напір. Таким чином загальний тяговий опір має наступні складові [12].

$$P = P_{CK} + (P_N + P_{TP} + P_{3AT} + P_V) \cdot \cos\left[\operatorname{arctg}\frac{i \cdot \sin\varphi}{\cos\varphi} - \varphi\right], \qquad (1)$$

де P_{CK} ,$P_{N,}$, P_{TP}, P_{3AT},P_V, - проекції на напрямок руху відповідно сил сколу призми, нормального тиску ґрунту на поверхню, сили тертя при переміщенні ґрунту вздовж робочої поверхні, додаткова сили від затуплення леза, швидкісної складової опору.

Знайшовши аналітичні вирази для наведених складових в автор [12] прийшов до єдиної інтегральної формули (2) взаємодії з ґрунтом робочого органу довільної геометричної форми у випадку блокованого різання.

$$P_{p1} = \left| C_{пз} \left[\frac{0{,}66a^2 \cdot ctg\varphi_2}{cos(\alpha_p - \varphi_2)} + в_з \cdot a \right] \cdot tg\left(\alpha_p + \varphi_2\right) + 4{,}9в_з \cdot a^2 \times \right.$$

$$\times tg^2\left(45° - 0{,}5\varphi_2\right) \cdot \gamma \left[sin\varphi_2 + cos\left(\alpha_p + \varphi_2\right) \cdot cos\alpha_p \cdot tg\varphi_1 \right] +$$

$$+2a^2\{ 0{,}5C_{пз} \left[tg\left(45° + \varphi_2\right) + ctg\alpha_p \right] \cdot \left[\frac{0{,}55ctg\varphi_2}{cos(45° + \varphi_2)} \right] + \qquad (2)$$

$$+4{,}9\delta_p \cdot tg^2(45° - 0{,}5\varphi_2) sin\varphi_2 \gamma \} \cdot tg\varphi_1 + K'\left(Z + X \cdot tg\varphi_1\right) \times$$

$$\left. \times в_з + \frac{9{,}81в_з \cdot a \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{sin\alpha_p \cdot cos\theta}{sin\left(\alpha_p + \theta\right)} \cdot V^2 \right| \cdot cos\left[arctg\left(\frac{i + sin\varphi_1}{cos\varphi_1} \right) \right],$$

де: P_{P1} – горизонтальна складова опору ґрунту;
a – приведена глибина робочого ходу;
$b_З$ – приведена ширина захвату ріжучого периметру;
Z,X - параметри затуплення леза;
α_P – кут атаки;
φ_1 – кут зовнішнього тертя ґрунту по сталі;
φ_2 – кут внутрішнього тертя ґрунту; γ – питома вага ґрунту;
$C_{пз}$ – питоме зчеплення часток ґрунту;
i – коефіцієнт ковзання.

Особливість методики полягає в тому, що вона працює з приведеними значеннями ширини захвату і глибини робочого ходу. Це спрощує модель, але тяговий опір однотипних але різних за конструктивним виконанням робочих органів при однаковій приведеній ширині захвату теж буде однаковим. Це робить проблематичним використання методики для порівняння показників роботи знарядь. До того ж збіжність з результатами експериментальних досліджень аналітично розрахованих результатів залежить від ступеня адекватності методик визначення приведених параметрів.

Виконання досліджень за наведеною схемою дозволяє аналітично визначити прогнозований тяговий опір конструкції, але не дозволяє оцінити якість кришення середовища. В роботі [6,12] запропоновано вирішити проблему шляхом введення спеціального показника, який отримав назву внутрішньої напруги. Сутність полягає в тому, що в оброблюваному середовищі елементарні сили зчеплення, внутрішнього тертя і пружності утворюють напружений стан. Для деструкції такого середовища цю силу необхідно подолати напруженим станом, що утворює робочий орган.

Як показує практика аналогове і імітаційне моделювання найчастіше виступають основними генераторами ідей для наукових

досліджень. Але вони не можуть виступати як відокремлений самостійний вид. Основна причина – це складність переводу модельних характеристик на реальний досліджуваний об′єкт. Тому їх слід використовувати сумісно з іншими видами моделювання. Найбільш раціонально виглядає комбінація з математичним моделюванням.

Теорію внутрішньої напруги можна розглядати як приклад такого сумісного використання. Дана теорія створена як основа моделювання взаємодії робочого органу з ґрунтовим середовищем. Теорія є результатом розробки і аналізу ряду аналітичних моделей.

Аналогова модель. Консолідований ґрунт розглядається як сукупність елементарних складових елементів кубічної форми. В межах виділеної кубічної структури діють пружні і в′язкі сили зчеплення, а також сили внутрішнього тертя. Суперпозиція наведених сил утворює попередньо напружений стан. Наведене положення можна розглядати як аналогову модель. Сутність моделі полягає в тому, що механічні властивості в розрахунковій схемі замінено на відповідні механічні аналоги (рис.1).

Особливість такого підходу полягає в тому, що вектор внутрішньої напруги має імовірнісний характер. Тому в [12] як вихід пропонується вектори діючих сил і внутрішньої напруги в розрахунках брати в проекції на напрямок руху.

За визначенням фізична сутність внутрішньої напруги витікає з залежності

$$G = \frac{R_c}{в_з \cdot a}, \qquad (3)$$

де R_C – результуюча сила в системі.

Наведена аналогова модель є основою імітаційної моделі.

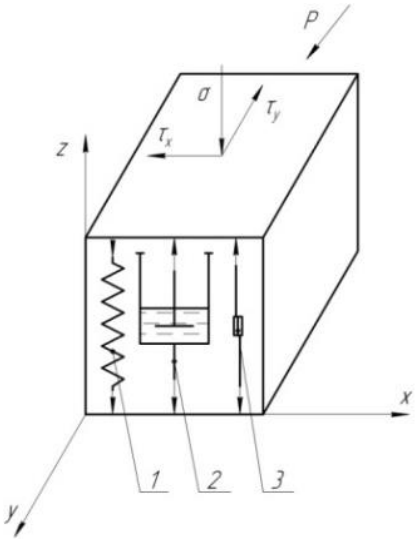


Рисунок 1. Аналогова модель до обґрунтування теорії внутрішньої

Складові елементи характеризують в проекції на напрямок руху:

1 – пружність; 2 - в′язкість; 3 –внутрішнє тертя.

2. Імітаційна модель являє собою абстрактну модель, функціональний аналіз якої дозволяє проаналізувати поведінку реального технологічного процесу руйнування структури кубика. В межах виділеної структури ґрунт моделюється коловидними кульками, рис.2.

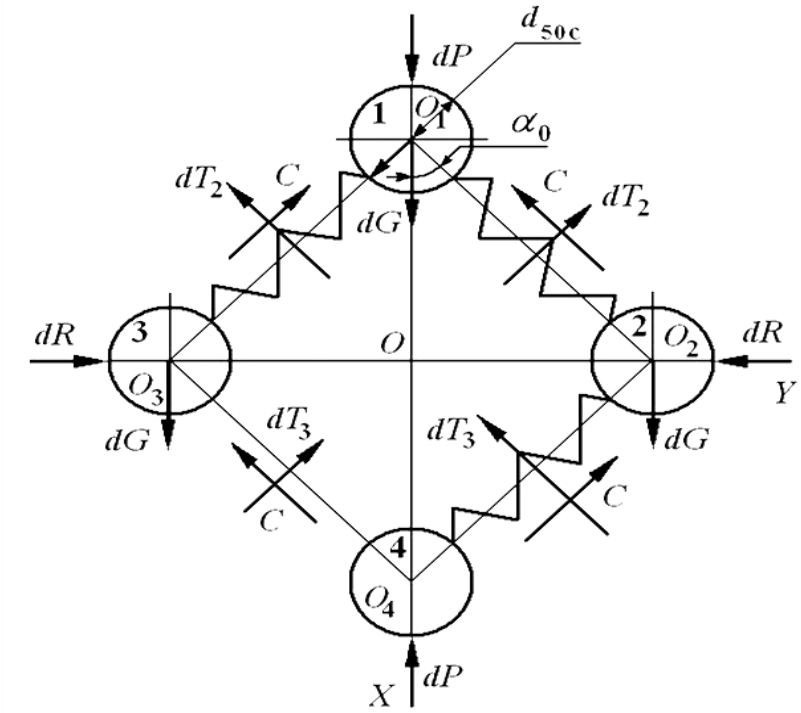


Рисунок 2. Імітаційна модель розподілу діючих сил в імітаційному середовищі, де D_{50C} – діаметр кульок (приведений діаметр структурних відмінностей), що складають 50% за масою у ґрунтовому середовищі;α_0 – кут укладки кульок [9,12].

В даній конструкції кульки зв′язані між собою тонкими нитями, жорсткість яких моделює питоме зчеплення часток між ними. Кульки розпирають пружні елементи, що моделюють модуль пружності. В точках контакту кульок виникають сили : *dP*-елементарна сила, що діє по осі шару *dR*- бокова сила; T_2,-розривна зсуваюча сила; T_3–стискаюча зсувна сила. *C* – питоме зчеплення

Використавши принцип можливих переміщень, склавши і вирішивши рівняння рівноваги конструкції, знаходимо

$$G = \frac{1}{2 \cdot Д \cdot \cos(\alpha_P + \varphi_2) \cdot K_L} + \sqrt[2]{\frac{1}{4 \cdot Д^2 \cdot \cos^2(\alpha_P + \varphi_2) \cdot K_L} + \frac{2K_P \cdot E}{\cos(\alpha_P + \varphi_2) \cdot K_l}}.$$

Запропонована теорія внутрішньої напруги побудована на основі модельних досліджень і тому в ній використовуються ряд отриманих аналітично вихідних даних. Окремі з них не мають матеріальної інтерпретації, як наприклад Д. Ці нематеріальні вихідні дані

характеризують структуру модельного середовища, в основному кути укладання агрегатів, що утворюють скелет ґрунту, кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення часток. Методика їх визначення розкрита в [12].

Для усереднених умов Дніпропетровської області

$$G = 638 \text{ кн/м}^2\text{; заміряне } E_v = 24{,}0 \cdot 10^3 \text{кН/м}^2.$$

Запропонована теорія внутрішньої напруги побудована на основі модельних досліджень і тому в ній використовуються ряд отриманих аналітично вихідних даних. Окремі з них не мають матеріальної інтерпретації. Ці нематеріальні вихідні дані характеризують структуру модельного середовища, в основному кути укладання агрегатів, що утворюють скелет ґрунту, кут внутрішнього тертя і питоме зчеплення часток. Методика їх визначення детально розкрита в [12].

Для усереднених ґрунтових умов Дніпропетровської області розрахункове

$$G = 638 \text{ кн/м}^2\text{; заміряне } E_v = 24{,}0 \cdot 10^3 \text{кН/м}^2.$$

Процес кришення характеризується коефіцієнтом кришення [7,12].

$$i_1 = \frac{2K_p \cdot E_v}{G^2} + 1 \qquad (4)$$

де - K_P - питомий коефіцієнт опору

Ступінь кришення *i* характеризує процес подрібнення, а саме, визначає кінцевий усереднений діаметр ґрунтових відмінностей, що за накопленою масою становлять 50% ;

$$D = \sqrt[3]{\frac{4V}{\pi \cdot i}}, \qquad (5)$$

де V- об′єм сколотої призми

Основна частина. Процес кришення носить імовірнісний характер. Тому розрахунки необхідно виконувати на ПЕОМ з використанням генератора випадкових чисел (ГВЧ) і з багаторазовим повторенням і усередненням отриманих результатів. Узагальнена методика досліджень представлена у вигляді схеми (рис.3).

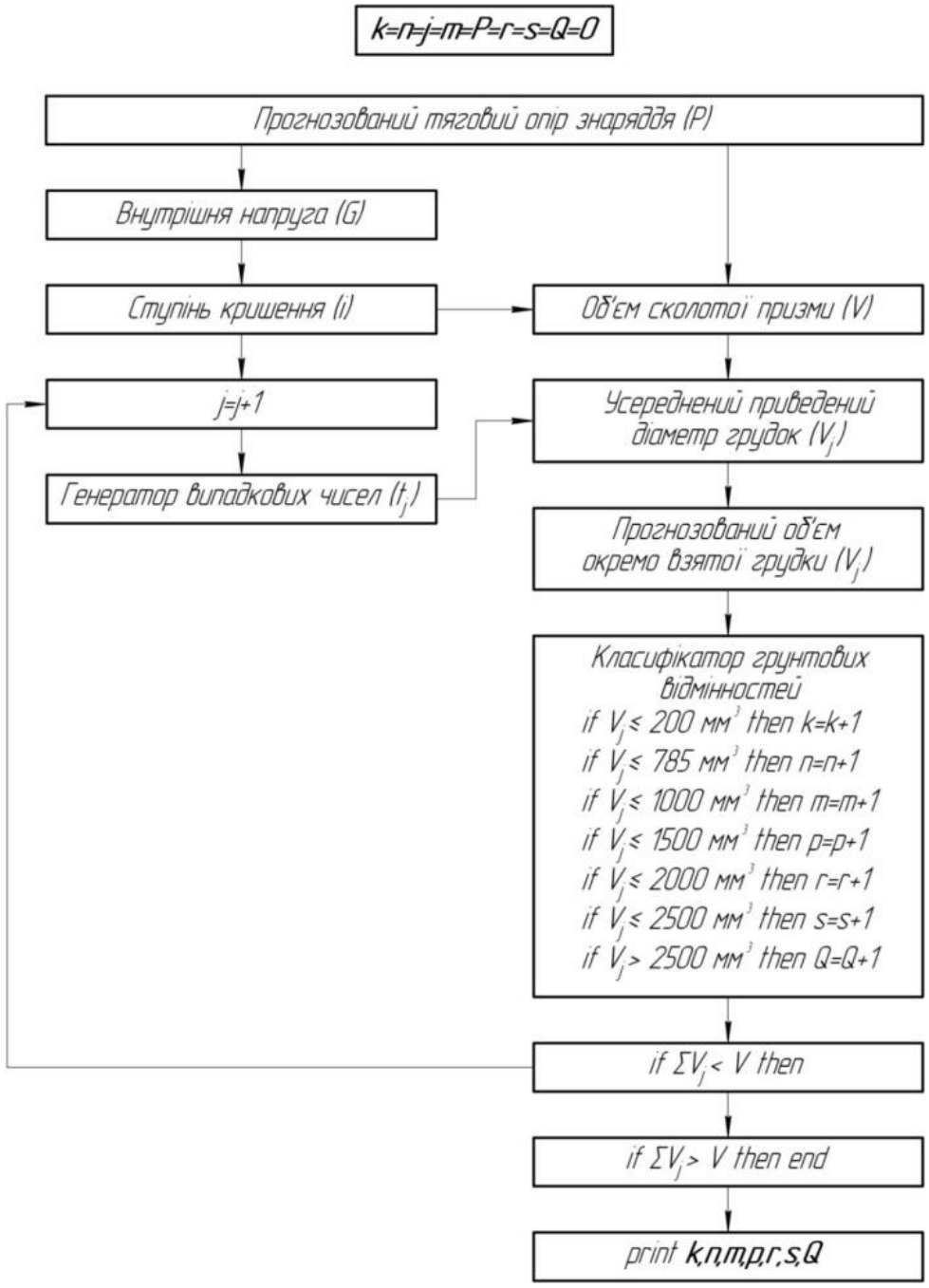


Рисунок 3. Алгоритм моделювання структурного складу грудок розпушеного ґрунту

Проблема полягає в тому випадкові числа, що генерує ГСЧ повинні підпорядковуватись закону розподілу грудок в процесі роботи реального ґрунтообробного знаряддя. Нами пропонується наступний вихід з даної ситуації. На даний момент в сільськогосподарському виробництві не існує абсолютно нових механізованих технологічних процесів. Тому для любого знаряддя, що проектується існує конструктивний прототип. Виконавши польові дослідження прототипу, можна отримати статистичну криву розподілу приведених

діаметрів грудок. Прийнявши, що для однотипних знарядь теоретичний характер розподілу, не буде мати суттєвих відмінностей підпорядковуємо ГВЧ під цей характер розподілу. В випадку біонічної стрільчастої лапи – це нормальна залежність. Імовірність попадання нормально розподіленої величини в інтервал отриманий ГСЧ для лінійного закону оцінюємо у відповідності до функції Лапласа.

Розрахований за даною методикою структурний склад використовуємо для отримання показника коефіцієнту структурності який визначається як відношення маси грудок діаметром 0,25-10 мм до загальної маси взятої проби. В нашому випадку можна прийняти

$$K = \frac{k}{m+n+p+r+s+q}. \quad (6)$$

Виконані нами розрахунки для біонічної стрільчастої лапи $К_{СТ}$ = 67%, для серійного зразка 0,59. Заміряні значення відповідно 0,51 і 0,44.

Висновки. Процес розробки нових машин і технологій багато в чому базується на досвіді та інтуїції розробника. Це є необхідна, але не достатня умова успішної роботи. Одна з головних проблем – великі затрати часу і матеріальних ресурсів на доопрацювання прийнятих конструктивно-технологічних рішень і їх адаптацію до конкретних умов експлуатації. Потрібні методи, що дозволяють інтенсифікувати процес. Одним з таких методів і є моделювання технологічних процесів. Сутність моделювання полягає в заміні досліджуваного об′єкту його детальним описом, або іншим об′єктом, який забезпечує близьку до оригіналу поведінку в межах прийнятих припущень і припустимих похибок. Запропонована методика дозволяє оцінити прийняті конструктивні рішення з точки зору якості виконання робочим органом технологічного процесу. Виконані за запропонованою методикою розрахунки показують хорошу збіжність з експериментально отриманими результатами.

Список використаних джерел

1. Boltianskyi B. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research / B. Boltianskyi et al. *Processes.* 2021. Vol. 9, № 7. 1144. DOI: 10.3390/pr9071144.

2. Skliar R., Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, 2021. P. 171-176.

3. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. № 1 (19). P. 7–12. DOI: 10.37700/enm.2021.1(19).7.

4. Skliar R., Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning*: Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux, 2020. P. 478-480.

5. Ветохін В. І. Системні та фізико-механічні основи проектування розпушувачів ґрунту: автореф. дис. … д-ра техн. наук: 05.05.11 / ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2010. 40 с.

6. Волик Б. А., Теслюк Г. В., Коновий А. В. Теорія внутрішньої напруги і її застосування для оцінки якості розпушення ґрунту. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки:* матеріали X Міжнародної конференції. Кіровоград, КНТУ, 2015. С. 39-40.

7. Кобець А. С., Волик Б. А., Пугач А. М. Ґрунтообробні машини: теорія, конструкція, розрахунок: монографія. Дніпропетровськ: Свідлер А. Л., 2011. 140 с.

8. Кленин Н. И., Сакун В. А. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины. Москва: Колос, 1980. 671 с.

9. Кобець А. С., Іщенко Т. Д., Волик Б. А., Демидов О. А. Механіко-технологічні властивості сільськогосподарських матеріалів: навчальний посібник. Дніпропетровськ: РВВ ДДАУ, 2009. 84 с.

10. Семенюта А. М., Білокопитов О. В., Волик Б. А., Колбасін В. О. Математична модель дискового плуга. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Мелітополь, 2010. Вип. 10, т. 8. С. 169-176.

11. Мударисов С. Г. Повышение качества обработки почвы путем совершенствования рабочих органов машин на основе моделирования технологического процесса: автореф. дис… д-ра техн. наук. Челябинск, 2007. 26 с.

12. Панченко А. Н. Теория измельчения почв почвообрабатывающими орудиями. Днепропетровск: ДГАУ, 1999. 140 с.

13. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education*: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, 2021. P. 231-233.

14. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. *Multidisciplinary academic research*: Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, 2021. P. 83-86.

Стаття надійшла до редакції 21.10.2021 р.

B. Volik, H. Tesliuk, A. Konoviy, E. Lepet
Dnipro state agrarian and economic university

METHODOLOGY OF FORECASTING AT THE PROJECT STAGE OF QUALITATIVE INDICATORS OF WORKING OF THE GROUNDING TOOL

Summary

In the article on the basis of the analysis of known mathematical models of interaction with soil of different kind of tillage working bodies the technique of analytical definition of the basic indicators of quality of performance by tools of technological process is proved: the predicted traction resistance, quality of crushing and loosening. Methods of joint use of analog and simulation modeling, theory of internal voltage are substantiated. The peculiarity of determining the quality of crumbling is that the process is considered as probabilistic and a random number generator (RNG) is used to describe it. Recommendations for adapting the RNG to the characteristics of the performed technological process are given. This is done on the basis of statistical processing of the results of field studies of the tool, adopted as a prototype. As a criterion, the following are accepted: the minimum traction resistance and the coefficient of soil structure. To determine the structural coefficient, a proprietary analytical model is proposed

The results of experimental studies to confirm the adequacy of the developed analytical model are presented. A pointed paw was used as a prototype, the parameters of which were substantiated on the basis of the use of bionics methods. The choice is due to the fact that the biological analogue adopted in the development requires the adaptation of the geometric shape to the working conditions in the soil The method for determining the traction resistance of the cutting perimeter of an arbitrary geometric shape was used as a mathematical model. The choice is due to the fact that the technique takes into account the design features of a particular weapon. This allows you to adjust its parameters taking into account the required performance indicators.

Key words: tillage implements, traction resistance, model studies

Б. А. Волик, Г. В. Теслюк, А.В. Коновой, Е. И. Лепеть
Днепровский государственный аграрно-экономический университет

МЕТОДИКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ПРОЕКТНОМ ЭТАПЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ПОЧВООБРАБАТЫВАЮЩЕГО ОРУДИЯ

Аннотация

В статье на основании анализа известных математических моделей взаимодействия с почвой различного вида почвообрабатывающих орудий обоснована методика аналитического определения основных показателей выполнения орудием технологического процесса: прогнозированного тягового сопротивления и качества крошения. Обоснованы методы совместного использования аналогового и имитационного моделирования, теории внутренних напряжений. Особенность определения качества крошения заключается в том, что процесс рассматривается как вероятностный и для его описания используется генератор случайных чисел (ГСЧ). Приведены рекомендации по адаптации ГСЧ к характеристикам выполняемого технологического процесса. Приведены результаты экспериментальных исследований на подтверждение адекватности разработанной модели.

Ключевые слова: почвообрабатывающие орудия, тяговое сопротивление, модельные исследования

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-5

UDC 631.3.004:621.892

D. Zhuravel, d.t.s. ORCID: 0000-0002-6100-895X
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university
e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

RESEARCH OF LUBRICANT PROPERTIES OF USED TRACTOR MOTOR OILS

Summary. This work considers and analyses the existing technical requirements for motor oils during the operation of mobile agricultural machinery, as well as quantitative and qualitative changes in indicators when they are used. The effect of aging and contamination of motor oils on the operation of the main components of mobile agricultural machinery was experimentally studied, and criteria for evaluating the lubricating effect of motor oils were determined. It has been established that due to the significant demand for motor oils for agricultural production, it is a serious issue to prolong their service life in the operation of agricultural machinery. It was recognized that the aging processes of motor oils in a certain range positively affect their functional properties, but the methods for finding this range and criteria for their evaluation are practically absent.

Key words: motor oil, lubricating properties, quality indicators, agricultural machinery, reconstituted oil, mobile module, service life.

Formulation of the problem. The economical use of fuel and energy resources is an indispensable and most important condition for the effective development of agricultural production.

In the context of a shortage of lubricants in Ukraine, a very urgent problem is the optimization of the timing of their use.

The use of oils that do not meet the technical requirements of operation leads to a decrease in the reliability of equipment, but at the same time, the use of oils with an unjustified reserve of quality properties leads to their irrational costs, while reducing their service life by more than half.

The increase in the service life of engine oils largely depends on their initial chemical properties, the rate of aging processes, operating conditions, as well as the limiting values of certain quality parameters, upon reaching which the oils lose their operational functions. Unfortunately, today there are no reliable criteria to predict the quality of oils in the process of their use. Based on the foregoing, the relevance of research lies in the fact that in order

© D. Zhuravel

to solve the tasks, in particular, the effective use of motor oils, it is necessary to develop such methods and criteria that would significantly increase the terms of their use during the operation of mobile agricultural machinery.

Analysis of recent research. When using motor oils, during the operation of mobile agricultural machinery, their initial functional properties are lost. Part of the oil is consumed for waste in the cylinder-piston group of the engine. Chemotological parameters also change, which ultimately leads to the so-called "Oil Aging". Qualitative changes can be so profound that the oil becomes unsuitable for further ensuring reliable engine lubrication and must be replaced with fresh one. From the complex of physical and chemical processes that make up oil aging during engine operation, the following can be distinguished first of all: oxidation, contamination and additive consumption. It should be noted that the separation of certain areas from the complex aging process is conventional, since they are actually all closely related to each other, and it is difficult, for example, to consider the process of oil pollution in isolation from the process of its oxidation and the operation of additives [1-7] .

Most researchers, until recently, considered the long-term use of oils to be inappropriate, but in recent years it has been established that with an increase in the service life of oils, its operational properties not only do not deteriorate, but even improve [8-17].

As for any structural element, the engine oil is characterized by the running-in process, accompanied by an intensive change in the parameters of the qualitative state in the initial period and the subsequent period of stabilization of properties [18].

The use of oils that do not meet the quality requirements leads to a decrease in the reliability of equipment, but at the same time, restoration of the main quality indicators can extend their service life and thereby save expensive oil products [19-21].

S.V. Wenzel explains the insufficient substantiation of the oil service life established until recently by the absence of a theory explaining the relationship between aging and the wear rate of tribo-couplings [22].

The increase in the resource largely depends, on the one hand, on the initial properties of oils, the rate of aging processes, operating conditions, as well as on the limiting values of certain quality parameters, upon reaching which the oils cease to effectively perform their functions [23].

Existing methods for assessing quality, various kinds of rejection criteria do not always objectively determine the timing of their replacement and take into account the effect of lubricants on the state of rubbing surfaces of machine parts and mechanisms, and most importantly, this is currently not technically ensured [24, 25].

The conducted literary review testifies to the significant problematicity of issues related to the establishment of rational terms for the use of lubricating oils.

This problem is especially relevant in relation to engine oils, since the work related to the optimization of the resource of this class is extremely insufficient [26-29].

Formulation of the objectives of the article. The aim of the research is to study the influence of the quality of motor oils on the effectiveness of their lubricating action during friction.

Main part. The studies were carried out using commercial mineral motor oil M-10G_2K, which was produced by SP YUKOIL (Ukraine).

According to the research objectives presented, the experiments were carried out with M - 10G_2K oil in the following qualitative states:

- in the delivery state (contamination with mechanical impurities- 0.027%);
- the used resource in highly accelerated engines operated during agricultural operations (contamination with mechanical impurities - 0.91%);
- a used resource in the same engines and cleaned by the UVOM-200 installation, designed by the Tauride State Agrotechnological University (TGATU) (contamination with mechanical impurities - 0.06%);
- the used resource in the same engines and cleaned with a mobile module, the design of TSTU (contamination with mechanical impurities - 0.015%).

The lubricating properties of the studied oils were evaluated using friction machines. Tests with point contact were carried out on a MAST-1 friction machine (Russia) under the “sphere-ring sample” scheme. The following materials were selected as friction pairs: special cast iron CHN1KHMD and Steel 45, which corresponds to the tribo-coupling “piston ring-cylinder liner” and “cam-pusher of the gas distribution mechanism”.

Tests with local contact were carried out on a friction machine SMC-2 (Russia) according to the “shaft-bushing” scheme. The following materials were selected as friction pairs: Steel 20X and OF bronze OF 6.5-0.15, which corresponds to the operating conditions of tribological conjugations “crankshaft-liner” and “bushing of the upper connecting rod head - piston pin”

To control the degree of contamination of motor oils, the PKZH-904V device (Russia) was used. This device is designed to control the amount of particles contained in a controlled volume of fluid. The results of measuring the number of particles were induced on the digital display of the device in six size ranges (5-10, 10-25, 25-50, 50-100, 100-200, more than 200 microns).

The methodology for the experimental assessment of the temperature stability of motor oils on a MAST-1 friction machine was as follows: The

test oil was poured into a 50-ml bath and samples of tribological conjugations were inserted. Prototypes, as well as real units were subjected to the necessary heat treatment.

After filling the oil on the load lever set the load depending on the selected load for testing. The oil was heated to the required temperature using an electric furnace. A chromel-kopel thermocouple was used to measure the temperature of the studied oils, and the value was controlled by an EPV-2 potentiometer.

Chart paper was fixed on the chart drum, and the recorder's pen was filled with ink for self-cleaning devices. After that, the tumblers were turned on to drive the samples and the chart drum. The value of the coefficient of friction was recorded by a recorder on a chart drum. The test time corresponded to 60 seconds.

An experimental assessment of the temperature resistance of motor oils was carried out in three temperature conditions:

- moderate temperatures, when the oil is heated to a temperature of 100 °C, which corresponds to the temperature of the oil in the crankcase of a running engine;

- working temperatures, when the oil is heated to a temperature of 300 °C, which corresponds to the temperature regime of the tribo-coupler “piston ring-cylinder liner”;

- elevated temperatures, when the oil is heated to a temperature of 350 °C, to simulate extreme temperature conditions at which tribological coupling “upper compression ring-cylinder liner” can work. Each test was carried out with a new portion of oil and new samples. The criterion for evaluating the lubricity at boundary friction of materials was adopted:

- the critical temperature, that is, the minimum volumetric temperature at which the friction coefficient and its spasmodic change sharply increases. This temperature characterizes the process of physical desorption of surface - active molecules of the boundary layer;

- the temperature of the chemical modification, that is, the minimum volumetric temperature at which the abrupt change in the coefficient of friction ceases and smooth sliding occurs, while the coefficient of friction is significantly reduced and stabilized. This temperature characterizes the process of chemical modification of the layers on the friction surface as a result of the decomposition products of chemically active substances contained in the lubricant with the metal of the friction surface.

After taking all readings, the oil was drained, and the samples and all parts in contact with the lubricant were washed with gasoline and dried in air.

The methodology for the study of the lubricating ability of motor oils on the SMTS-2 friction machine, unlike the MAST-1 friction machine, allowed to expand the functionality, and thereby contributed to:

- set the rotation frequency of the test samples for steady-state operation from 300 to 1500 rpm and a duration of 1 minute to 10 hours;

- maintain a stable speed of the samples when the load changes;

- set repeatedly recurrent cycles "start - stop" or "start - steady state" in identical conditions.

The temperature was measured with a chromel-kopel thermocouple; an electronic potentiometer EPV-211A was used as a temperature indicator.

Forced temperature increase at a certain speed was carried out using a special container with an incandescent element.

The methodology for controlling the degree of contamination and purification of motor oils with the PKZh-904V device included the following. To determine the class of liquid purity according to GOST 17216, the readings of the device in the appropriate size ranges should be assigned to 100 cm^3 of the controlled liquid.

The operation of the device is based on the registration by a sensitive element (photodiode) of a change in the light flux from the light source (LED) during the overlapping of a part of the light flux with an individual particle moving with the flow of the controlled fluid. The electrical signals of the photodiode are amplified, stabilized in amplitude and distributed over the corresponding size ranges indicated on the instrument panel. The device was used in two modes: control of purity in a stream and control of purity of a liquid by separate samples.

The kinetics of the change in the coefficient of friction for the four high quality states of the above M - $10G_2K$ oil is shown in Fig. 1.

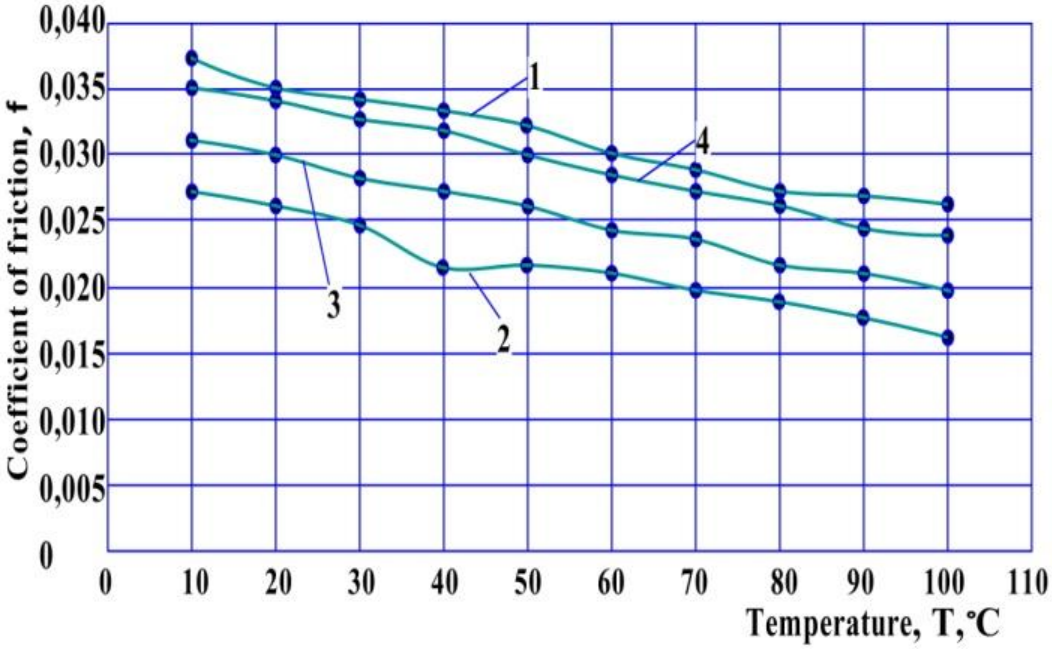


Fig. 1 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 300 N: 1 - in the delivery state, 2 - the used resource, 3 - after cleaning the UVOM-200, 4 - restored by the module

As can be seen from fig. 1, with an increase in the volumetric temperature of the oil, the friction coefficient decreases. At the end of the running-in process of rubbing surfaces, the oil temperature in the volume is stabilized for all four lubricating oils.

It is known that foreign substances entering the oil during its operation undergo changes, which in some cases bring significant benefits. In particular, particles up to 5 μm contribute to the optimization of the surface microrelief and their antifriction separation.

Artificially contaminated oil was supplied instead of the rubbing contact of the tribo-conjugation from the activator.

Such phenomena occur only in the actual operating conditions of tribological conjugations simultaneously with the process of oil aging and stabilization of the content of oxidation products and solids.

An analysis of the results shows that the degree of contamination of motor oils during their operation in this temperature range does not significantly affect the effectiveness of the lubricating action, as evidenced by the values of the friction coefficients.

A significant influence on the performance of the lubricating action, as it turned out, has a method of cleaning lubricating oils.

An insignificant effect on the performance of the lubricating effect is exerted by the load factor, as can be seen from Figures 2 and 3.

With increasing load, the friction coefficient at the initial moment increases for all four lubricating oils, and then gradually decreases and begins to stabilize. As can be seen from fig. 1, 2 and 3, the patterns of change in the coefficient of friction are similar at different loads.

The experimental results also indicate a noticeable superiority of the lubricating performance of used oil in the units of tractor engines.

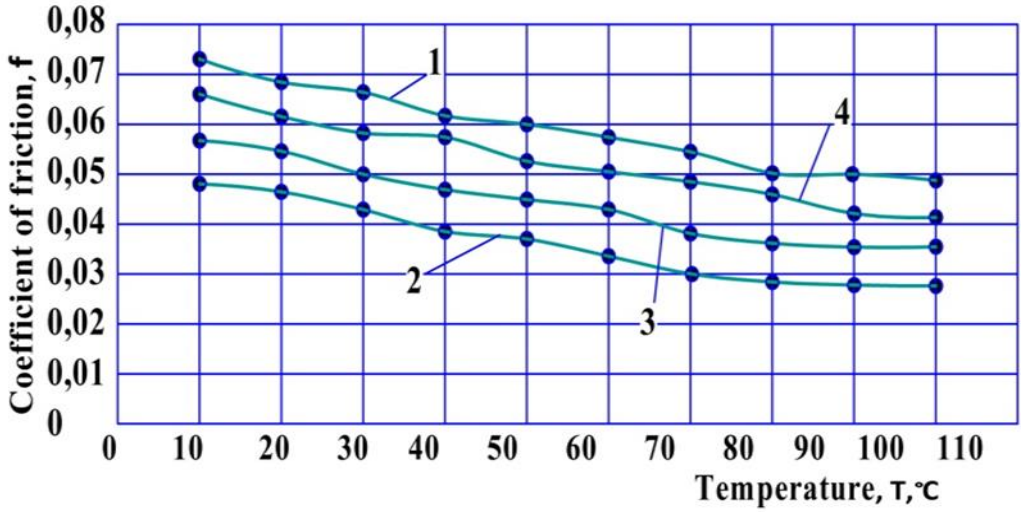


Fig. 2 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 2000 N: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - after cleaning UVOM-200, 4 - restored by the module

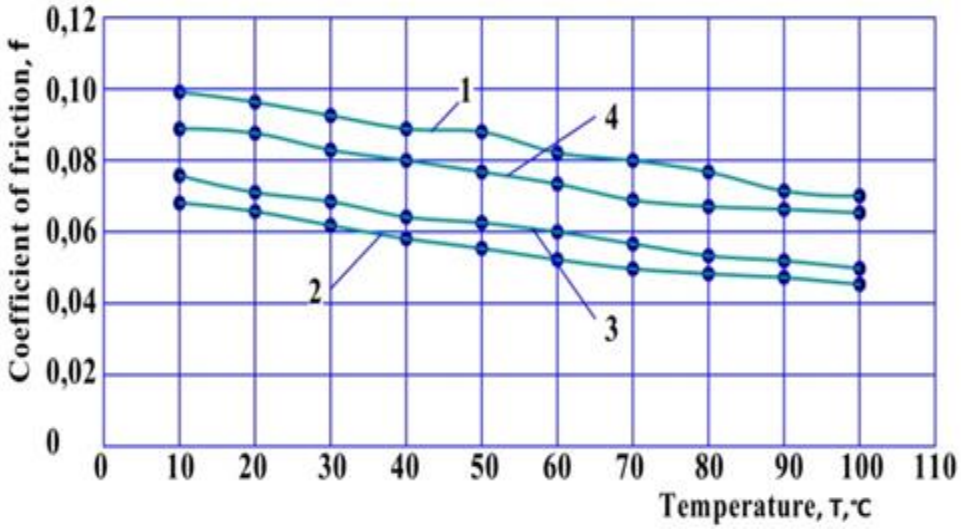


Fig. 3 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 5000 N: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - after cleaning UVOM-200, 4 - restored by the module

Therefore, in the conditions of the boundary lubrication regime, when using M-10G2K engine oil with a different content of contaminants, the active formation of lubricant layers begins at an oil volumetric temperature of 85 ... 100 °C.

It should be noted that the adsorption processes forming the boundary lubricating layers in oils of various qualitative states are very diverse.

In fig. 4 and 5 shown the dependences of the coefficient of friction on temperature and load for oils in various qualitative conditions.

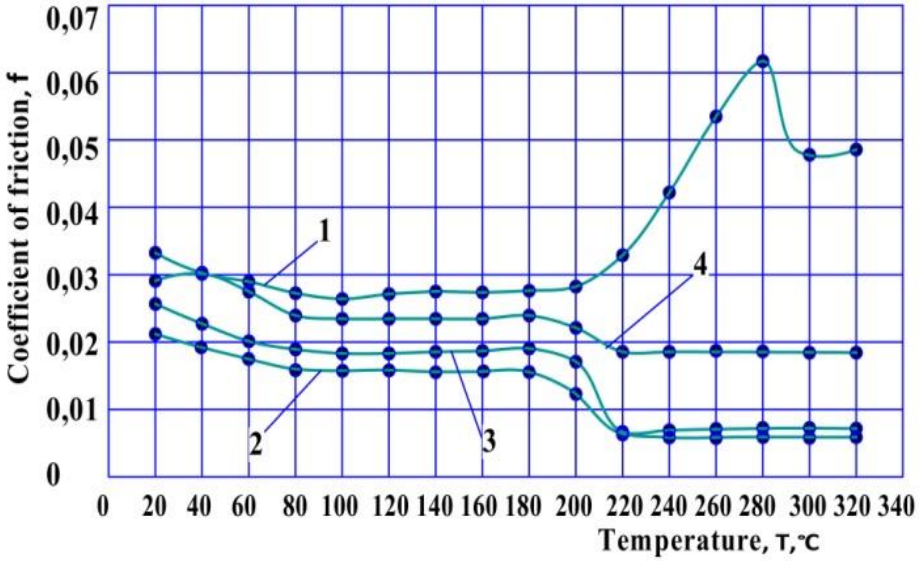


Fig. 4 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 300 N: 1 - in the delivery state, 2 - the used resource, 3 - after cleaning the UVOM-200, 4 - restored by the module

As is well known, in the actual operating conditions of tractor engines, the volumetric temperature of the oil reaches sufficiently high values until it stabilizes. In particular, in the area of the upper compression ring, the oil temperature reaches 300 °C or more.

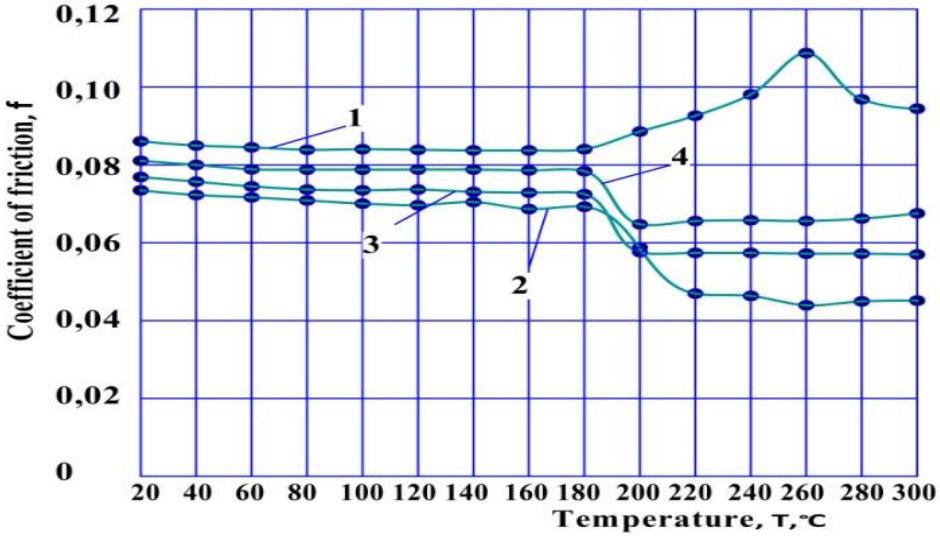


Fig. 5 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 2000 N: 1 - in the delivery state, 2 – used resource, 3 - after cleaning UVOM-200, 4 - restored by the module

Therefore, the above temperature conditions are true for motor oils and require more detailed consideration.

Studies have shown that the lubricating effect of the restored used oil surpasses that of the oil in the delivery state.

When the oil was heated to a temperature of 100 °C, the friction coefficient decreased at various loads, while further heating to a temperature of 180 °C, its value stabilized and remained unchanged. In our opinion, this indicates an insignificant effect of this temperature factor on the processes of formation of the initial boundary layer.

At the same time, with a further increase in temperature (from 180 °C to 300 °C), there is an unconditional influence of the volumetric oil temperature on the intensity of the formation of boundary lubricating layers.

In particular, the steady-state values of the coefficient of friction during testing in oil, a used resource, and oil purified using UVOM-200 and the module were lower than at moderate temperatures.

The obtained coefficient of friction values during the test period changed differently with increasing temperature.

Therefore, ceteris paribus, the temperature factor in the evaluation of the lubricating effect of motor oils is very significant.

An analysis of the results indicates that, under conditions of heating the oil to 300 °C at nominal load conditions, P = 5000 N, the oil that has spent

its life in the engine forms a stable, significant in thickness, boundary lubricating layer localizing shear deformations on the friction surface and reducing friction losses.

In our opinion, the low values of the coefficient of friction obtained during the tests are explained by the presence of a significant amount of oil aging products in motor oils that have spent their resources, which, due to their polar activity, are adsorbed on the friction surfaces and have an anti-wear effect.

In addition, oil oxidation products are adsorbed on foreign particles, which are wear products and external pollutants (dust, sand, etc.).

They, in turn, become complexes with multilayer colloidal protection, playing the role of anti-friction, anti-wear additives(fig. 4 and 5).

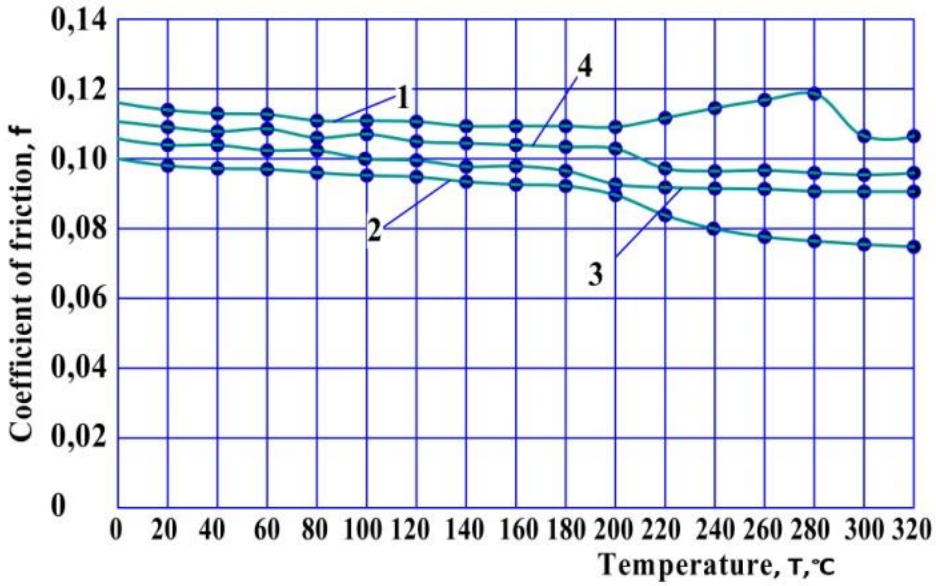


Fig. 6 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 5000 N: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - after cleaning UVOM-200, 4 - restored by the module

Therefore, during the operation of motor oils, particles of external contaminants of a certain size up to $5 \cdot 10^{-6}$m are reliably isolated by oxidation products, which protect the friction surfaces from the destructive effects of the latter.

During the operation of mobile agricultural machinery, due to violation of the conditions of normal operation of tractor engines, the operating temperature of lubricating media can significantly change in the direction of increasing the volumetric temperature of the oil.

In this regard, it is of certain interest to study the indicators of the lubricating effect of motor oils of various SZs during their gradual heating to 350 °C.

An increase in temperature from 300 °C to 350 °C had practically no effect on the value of the coefficient of friction when using oil in the delivery state, which remained at the same level.

For lubricating oil cleaned using UVOM-200 and the module, a slight decrease in the coefficient of friction was observed with subsequent stabilization.

For used oil, the friction coefficient decreased and its value did not stabilize when the oil was heated to a temperature of 350 °C. In our opinion, this is due to the continuation of the chemical reaction of the lubricating oil with the surface of the material, which entails the wear of the interface, as mentioned earlier.

The kinetics of changes in the coefficient of friction for these experimental conditions at nominal load conditions is shown in Fig. 7.

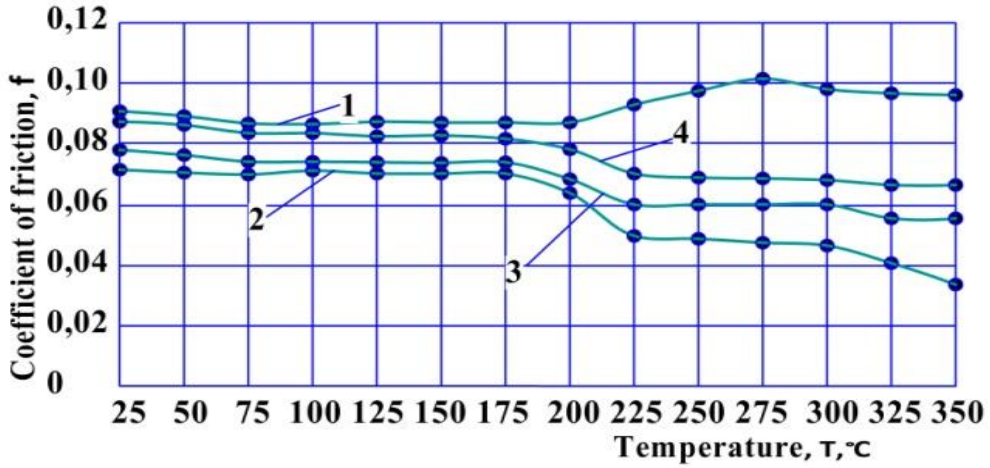


Fig. 7 The dependence of the coefficient of friction on the volumetric temperature of the oil at a load of 5000 N: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - after cleaning UVOM-200, 4 - restored by the module

Thus, the results of studies conducted under conditions of gradual heating of lubricating media to a temperature of 350 ° C indicate a significant effect of the volumetric temperature of the oil in the range of 180 - 260 °C and 300 - 350 °C on the performance of on the lubricating performance of engine oil of varying degrees of contamination.

In order to determine the effect of the degree of purification of motor oils on their anti-wear properties, the M-10G2K oil was tested in the delivery state, purified using UVOM-200, restored by the module.

The experiments were carried out on a MAST-1 friction machine at a load of 6500 N for one hour. Samples - from ШХ 15 steel.

The analysis of the research results showed that the diameter of the wear spot obtained as a result of running in a clean oil environment significantly exceeds this value than when tested in oil, purified UVOM-200 and restored by the module, respectively 0.65 mm and 0.5 and 0.45 mm (Fig. 8). The research results confirmed the better anti-wear properties of the restored oil

than in the delivery state, as evidenced by the numerical values of the friction coefficients.

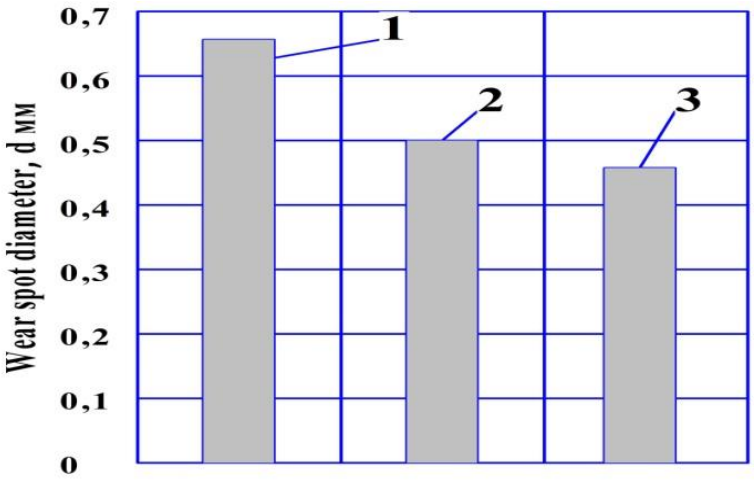


Fig. 8 Histogram of the values of the diameter of the wear spot of the studied oils: 1 - in the delivery state, 2 - after cleaning the UVOM-200, 3 - restored by the module

The main components that determine the nature and speed of the processes during friction and wear include a combination of many factors, namely the type and nature of the friction, the magnitude of the applied load, the speed of mutual movement of the rubbing surfaces, the change of modes speed over time, temperature conditions and duration of work.

Crucial to the nature and speed of the tribological processes during friction and wear are the properties of the lubricating medium.

The results of previous studies have shown that the value of the specific load during friction in the environment of lubricating oils of various qualitative conditions does not significantly affect the value of the friction coefficient, and therefore the wear rate.

The value of the specific load can have a sharp effect only if its critical values are reached, when a transition to wear by setting is observed.

The sliding speed of the rubbing parts of tractor engines operating in a hydrocarbon fluid environment in a wide range from tenths to several meters per second, therefore, studies of the influence of the high-speed regime on the lubricity of the oil aroused some interest.

The tests were carried out on a SMC-2 friction machine in the speed range from 0 to 15 m / s with axial loads on a friction pair of 300, 2000, 6000 N, which corresponds to the nominal contact stresses of the main joints of tractor engines operating in a lubricating oil environment.

The oil temperature was constant and amounted to 180 °C. This is the maximum oil temperature that separates the surfaces of the rubbing parts with a local contact.

The dependence of the coefficient of friction on the sliding velocity under load is shown in Fig. 9, 10 and 11.

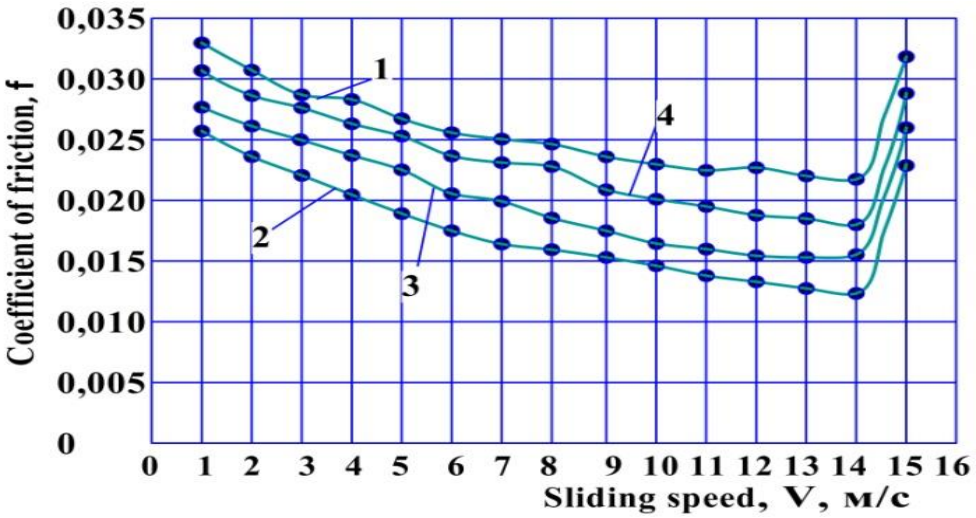


Fig. 9 The dependence of the coefficient of friction on the sliding speed at a specific load of 300 N for oils: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - cleaned UVOM-200, 4 - restored by the module

With an increase in the sliding velocity from 0 to 15 m / s, each combination of the joint surfaces and oil has its own critical sliding velocity, at which the quantitative characteristics of the friction process change stepwise. A sharp increase in the coefficient of friction occurs. The nature of the ongoing processes on the friction surfaces and in the surface layers of metals also changes stepwise.

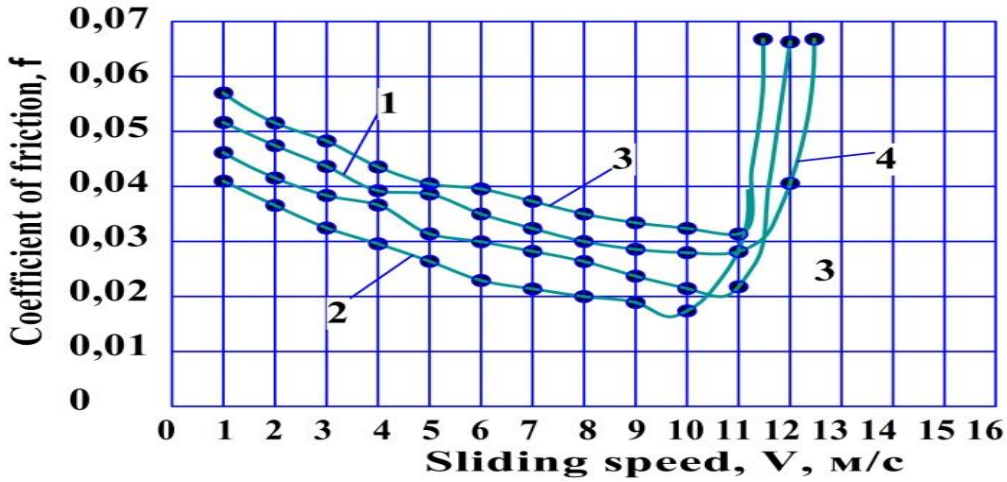


Fig. 10 The dependence of the coefficient of friction on the sliding speed at a specific load of 2000 N for oils: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - cleaned UVOM-200, 4- restored by the module

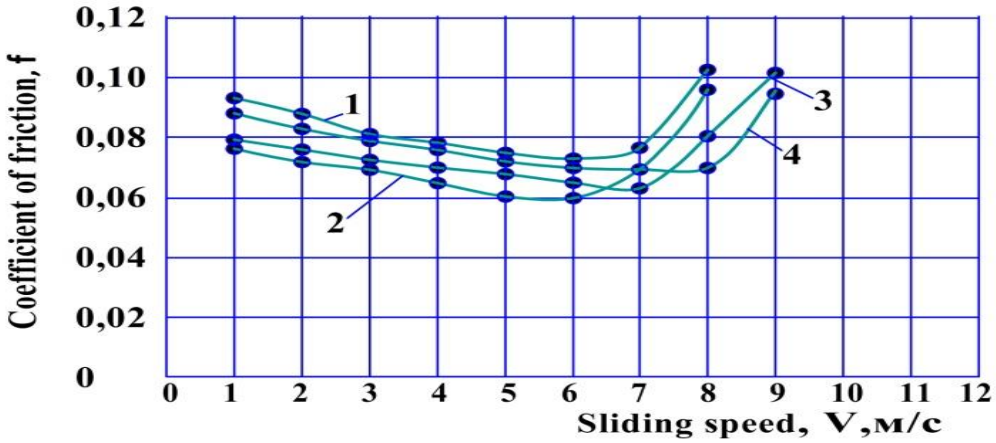


Fig. 11 The dependence of the coefficient of friction on the sliding speed at a specific load of 5000 N for oils: 1 - in the delivery state, 2 - used resource, 3 - cleaned UVOM-200, 4 - restored by the module

At nominal slip speeds, processes of physicochemical interaction of metals and a liquid medium are observed. As a result, protective films (organic and inorganic) are formed on the friction surfaces, which act as lubricants. When the critical sliding speed is reached, these films are destroyed, and on the friction surfaces, the processes of setting of metals become predominant, as a result of the simultaneous formation of strong adhesive bonds between the metal surfaces.

The research results allowed us to conclude that the speed of the process of regeneration of protective films becomes less than the speed of the process of their destruction.

A decrease in the sliding velocity from critical to 0.1 m / s leads to an increase in wear and friction coefficient.

In the process, with an increase in the sliding speed, a decrease in the critical load occurs, which further leads to gripping.

Conclusions. As a result of the studies, it was found that under conditions of loading of samples close to the operating conditions of the main parts of tractor engines under steady-state conditions, a mixed type of lubricant occurs with a significant predominance of the boundary component.

It has been established that reduced oil forms a stable, significant in thickness boundary lubricating layer on the friction surface, which localizes shear deformations and reduces friction losses.

The degree of purification of motor oil has a significant impact on the performance of the lubricating oil, while the diameter of the wear spot obtained when testing the M-10G2K engine oil on the MAST-1 friction machine was 0.65 mm for marketable oil; purified UVOM-200 - 0.5 mm and restored by the module - 0.45 mm.

Characteristics of the lubricating action of motor oils are significantly affected by the temperature of the oil, in the intervals of 180-260 and 300-350 ° C.

The effect of the degree of purification of motor oils on their anti-wear properties at various speeds and specific loads has been established, in particular, restored oil has higher anti-wear properties than oil in the delivery state.

References

1. Мороз Н. Н. Структурный анализ надежности зерноуборочного комбайна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин.* Кіровоград: КНТУ, 2006. Вип. 36. С. 94-100.

2. Ostrikov V. V., Vigdorovich V. I., Safonov V. V., Kartoshkin A. P. Development of a Technological Process and Composition of Flushing Oil for Diesel Engines. *Chemistry and Technology of Fuels and Oils*. 2018. Vol. 54, № 1. P. 24-28. DOI: 10.1007/s10553-018-0893-z.

3. Журавель Д. П. Влияние процессов старения и загрязнения моторных олив на изнашивание основных узлов тракторных двигателей. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агро-промисловому комплексі:* матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 333-338.

4. Журавель Д. П. Забезпечення надійності гідросистем сільськогосподарської техніки шляхом очищення робочих рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного.* Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-3.

5. Журавель Д. П. Количественные и качественные изменения показателей моторных масел в процессе их использования. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: мате-ріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 322-327.

6. Журавель Д. П. Безмоторні методи оцінки якості моторних олив енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 504-510.

7. Sigaeva D. M., Akhmetov I. V., Uzyanbaev R. M., Gubaydullin I. M. Mathematical model of the production of highly purified stable oils with ultra-high viscosity index. *Journal of Physics: Conference Series*. 2018. Vol. 1096 (1). 012195. DOI: 10.1088/1742-6596/1096/1/012195.

8. Gryazin V., Bagautdinov I., Kozlov K., Belogusev V. Tool for quality control of lubricants. *Engineering for Rural Development*. 2018. Vol. 17. P. 943-947. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N411.

9. Petukhov S. A., Kurmanova L. S., Erzamaev M. P. Transport diesels oil system operation efficiency increase. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*. 2019. Vol. 2, № 434. P. 79-85. DOI: 10.32014/2019.2518-170X.41.

10. Skliar O., Boltianska N. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. *Multidisciplinary academic research:* Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, 2021. P. 83-86.

11. Motamen Salehi F., Morina A., Neville A. Zinc Dialky ldithiophosphate Additive Adsorption on Carbon Black Particles. *Tribology Letters*. 2018. Vol. 66, № 3. P. 118. DOI: 10.1007/s11249-018-1070-6.

12. Alie A., Darwito P. A. Improve of engine oil lifetime by using additional filter A case study at PT Vale Indonesia TBK. *AIP Conference Proceedings*. 2019. Vol. 2088, № 1. 020004. DOI: 10.1063/1.5095256.

13. Wolak A. Changes in Lubricant Properties of Used Synthetic Oils Based on the Total Acid Number. *Measurement and Control (United Kingdom)*. 2018. Vol. 51, № 3-4. P. 65-72. DOI: 10.1177/0020294018770916.

14. A review of the performance and emission characteristics of a stationary diesel engine fueled by schleicheraoleosa oil methyl ester (Some), blends of neem biodiesel, Rice bran biodiesel, palm and palm Kernel oil, Jatropha oil / A. P. Senthil Kumar. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development*. 2019. Vol. 9, Special Issue 2. P. 857-861.

15. Emima Y., Rajesh M., Rao K. S. Experimental investigation on performance and exhaust emission characteristics of diesel engine using eesame blends with diesel and additive. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 1. P. 6-11.

16. Nagy A. L., Knaup J., Zsoldos I. A friction and wear study of laboratory aged engine oil in the presence of diesel fuel and oxymethylene ether. *Tribology - Materials, Surfaces and Interfaces*. 2019. Vol. 13, № 1. P. 20-30. DOI: 10.1080/17515831.2018.1558026.

17. Reddy M. S., Sharma N., Agarwal A. K. Effect of straight vegetable oil blends and biodiesel blends on wear of mechanical fuel injection equipment of a constant speed diesel engine. *Renewable Energy*. 2016. Vol. 99. P. 1008-1018. DOI: 10.1016/j.renene.2016.07.072.

18. Hrytsaienko H., Hrytsaienko I., Bondar A. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. P. 29-40. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_4.

19. Research on milk homogenization in the stream homogenizer with separate cream feeding / K. Samoichuk et al. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*. 2020. Vol. 14. P. 142-148. DOI: 10.5219/1289.

20. Revealing new patterns in resourcesaving processing of chromium-containing ore raw materials by solidphase reduction / V. Borysov et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. Vol. 1/12(103). P. 24-29. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.196653.

21. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction / D. Milko et al. *INMATEH - Agricultural Engineering*. 2020. Vol. 60, № 1. P. 269-274. DOI: 10.35633/inmateh-60-30.

22. Improving the quality of milk dispersion in a counterjet homogenizer / K. Samoichuk et al. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 2020. Vol. 14. P. 633-640. DOI: 10.5219/1407.

23. Ways to improve the efficiency of pipelines heat insulation / N. Struchaiev et al. *Problemele energeticii regionale.* 2020. Vol. 2 (46). P. 43-52. DOI: 10.5281/zenodo.3898231.

24. Solar dryer with integrated energy Unit / S. Korobka, S. Syrotyuk B. Boltianskyi, L. Boltianska. *Problemele energeticii regionale*. 2021. Vol. 2 (50). P. 60-75. DOI: 10.52254/1857-0070.2021.2-50.06.

25. Дидур В. А. Надежность мобильной сельскохозяйственной техники при использовании биологических топливо-смазочных материалов. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. *Сер. Техніка та енергетика АПК*. 2016. № 251. С. 69-78.

26. Бондар А. М. Покращення та оцінка якісних показників відпрацьованих автотракторних олив для сільськогосподарської техніки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-6.

27. Бондар А. М. Прогнозування ресурсу трибосистем при використанні сумішевих олив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-10.

28. Nadikto V., Chebanov A., Verechaga O. Improving the efficiency of pressing the male of castor seeds in the screw press. *Norwegian Journal of development of the International Science*. 2021. Vol. 1, № 59. P. 48-53.

29. Boltianska N. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference.* Athens, 2021. P. 231-233.

Стаття надійшла до редакції 18.10.2021 р.

Д. П. Журавель
Таврійський державний агротехнологічний університет
імені Дмитра Моторного

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДПРАЦЬОВАНИХ АВТОТРАКТОРНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ

Анотація

В роботі розглянуто і проаналізовано існуючі технічні вимоги до моторних олив при експлуатації мобільної сільськогосподарської техніки, а також кількісні та якісні зміни показників при їх використанні. Експериментальним шляхом досліджено вплив процесів старіння і забруднення моторних олив на роботу основних вузлів мобільної сільськогосподарської техніки, визначені критерії оцінки мастильної дії моторних олив.

Встановлено, що внаслідок значної потреби в моторних оливах для сільськогосподарського виробництва є актуальним питанням збільшення терміну їх служби при експлуатації сільськогосподарської техніки.

Встановлено, що процеси старіння моторних олив в деякому діапазоні позитивно впливають на їх функціональні властивості, але методи знаходження цього діапазону і критерії їх оцінки практично відсутні.

Існуючі методи оцінки якісних показників олив за фізико-хімічними та вибраковочним критеріям, як правило, не враховують їх триботехничні властивості, які характеризують надійність роботи трибосистеми.

Лабораторні дослідження проводились на машинах тертя МАСТ-1 і СМЦ-2 переобладнаних з урахуванням умов випробувань. В якості основних показників, які характеризують вплив ступеня очищення і забрудненості моторних олив на їхні змащувальні дія були прийняті: питоме навантаження в контакті, лінійна швидкість, а також коефіцієнт тертя і об'ємна температура оливи.

Для отримання дослідного зразка оливи використовувалися розроблені нами установка УВОМ-200 і мобільний модуль для відновлення автотракторних олив.

Дослідження показали, що значний вплив на хіммотологічні властивості моторних олив має ступінь їх очищення. Це дає можливість розробити методику збільшення терміну використання моторних олив із застосуванням деякої кількості відновленої оливи, яка дозволить порівняти терміни заміни оливи з періодичністю технічного обслуговування мобільної сільськогосподарської техніки, що в свою чергу зменшить час простою техніки і збільшить при цьому ефективність її використання за рахунок збільшення терміну їх служби.

Ключові слова: моторна олива, змащувальні властивості, якісні показники, сільськогосподарська техніка, відновлена олива, мобільний модуль, термін служби.

Д. П. Журавель
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ СВОЙСТВ ОТРАБОТАННЫХ АВТОТРАКТОРНЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Аннотация

В работе рассмотрены и проанализированы существующие технические требования к моторным маслам при эксплуатации мобильной

сельскохозяйственной техники, а также количественные и качественные изменения показателей при их использовании. Экспериментальным путем исследовано влияние процессов старения и загрязнения моторных масел на работу основных узлов мобильной сельскохозяйственной техники, определены критерии оценки смазочной действия моторных масел.

Установлено, что вследствие значительной потребности в моторных маслах для сельскохозяйственного производства является актуальным вопросом увеличения срока их службы при эксплуатации сельскохозяйственной техники.

Установлено, что процессы старения моторных масел в некотором диапазоне положительно влияют на их функциональные свойства, но методы нахождения этого диапазона и критерии их оценки практически отсутствуют.

Ключевые слова: моторное масло, смазывающие свойства, качественные показатели, сельскохозяйственная техника, восстановленное масло, мобильный модуль, срок службы.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-6

UDC 624.011.1

S. Romanenko, Senior Lecturer ORCID: 0000-0002-0443-3896
Ya. Andriievska, Assistant ORCID: 0000-0003-3052-2515
Kherson State Agrarian-Economic University, Kherson, Ukraine
e-mail: romanesko666@gmail.com, yanaandrievska321@gmail.com

TECHNICAL INSPECTION AND CALCULATION OF THE WOODEN FRAME OF THE BUILDING FOR LOADING CAPACITY

Summary. One of the tasks in the development of Ukraine is the implementation of the energy independence program.

Today, an effective solution for business and production entities is the installation of alternative sources on the roof of buildings or structures.

The article presents the results of a grain storage survey for the possibility of installing solar panels on the roof of a building on existing load-bearing structures.

In connection with the increase in the effective load on the existing supporting structures (wooden frame), a design diagram of a wooden frame was developed, the design forces in the frame elements were determined, and the selection of cross-sections of the elements in the software package "Lira CAD 2013".

Analysis of the results and full-scale examinations of wooden structures and their elements in the building of the grain warehouse No. 2 showed that the bearing capacity and reliability of the load-bearing wooden structures are unchanged in the presence of various damages and defects.

Key words: wood, frame, effort, load, bearing capacity

Formulation of the problem. One of the priority tasks in the development of Ukraine is the implementation of the energy independence program, the main goal of which is to ensure energy security and the transition to energy efficient, energy-saving use and consumption of energy resources.

Today, an effective solution for business entities and production is the installation of solar power plants on the roof of buildings and structures.

In the construction of agricultural, public and industrial buildings, solid or glued wood is a common and basic building material for roof structures.

Domestic and foreign experience has shown that it is most advisable to use wooden rafterstructures, supporting structures in the form of half-trusses

© S. Romanenko, Ya. Andriievska

or half-frames, trusses and frames during construction, due to the small mass of structures and low mechanization when assembling frames.

During operation, wooden structures lose strength, deformation, heat and sound insulation properties, and are also subject to decay, fungal diseases, and therefore, in order to extend their service life, it is necessary to take a number of measures to eliminate the above disadvantages.

Due to changes in loads, changes in the characteristics of the material and the possible development of cracks at the operational stage, wooden building structures of the coating of buildings and structures need to be strengthened or completely replaced.

Analysis of recent studies. Works of scientists V. Dereviagin, G. Carlsen, M. Kagan, V. Ivanov, V. Kochenov, Yu. Ivanov, V. Fursov, I. Barrett, R. Foci, P. Crossman, L. Nielsen and P. Hoffmeier and others have significantly enriched the science in the field of wooden structures. In these scientists, the issues of theoretical and experimental research of the long-term strength and durability of solid wood were considered.

S. Lekhnitsky, A. Mitinsky, S. Ambartsumyan, Yu. Sobolev, J. Goodman, Z. Khashin, A. Hoffman, K. Norris, the theoretical substantiation of numerical methods for calculating wooden structures was carried out and finite element models were investigated taking into account the anisotropy of the properties of wood.

Scientists have carried out a tremendous amount of work to identify various types of defective conditions of wooden structures in use, the reasons for their appearance, as well as to develop various methods and methods for restoring and strengthening wooden structures. The main results of this work are reflected in the works of M. Boiko, V. Bolshakova, I. Guskova, G. Zubarev, V. Ivanova, A. Kalugin, G. Carlsen, Kúdela J., Slaninka R., Escalantea M.R. [1], Brandon D., Samoilenko E.V. [2], Smorchkov A.A. [3], Jian Jiao [4], Ulrike Dackermann [5], Chunhui Liao, Paulo B. Lourenço [6], Mariapaola Riggio [7] and other scientists.

Formation of the goals of the article (problem statement). The aim of research is to examine the warehouse building to determine the bearing capacity of wooden structures after long-term operation and taking into account the installation of solar panels on the roof based on cadmium telluride of the American company First Solar, proposals for strengthening the structures and calculation in the Lira CAD 2013 software package, which is algorithmically based on the finite element method.

Research objectives:

- analyze wooden structures after long-term operation;
- development of a design model of a wooden frame;
- develop recommendations for restoring the bearing capacity of wooden structures;
- analyze the results obtained after verification calculations.

Main part. According to the results of the engineering and technical survey of the building, the general characteristics of the building are presented [8-10].

The object of the survey is the building structures of a one-storey building of a grain warehouse No. 2 with overall dimensions in terms of 34.1 x 20.1 m. The warehouse is located in the agricultural complex of the PrJSC "Kherson bakery plant" at the address: Kherson region, Bilozerka district, Mykilske village, Reprynska str., 2-A.

Constructive diagram of grain warehouse No. 2 – incomplete frame. The cross-section of a building is a transverse frame consisting of a wooden inner frame. Elements of the wooden frame are made of beams and round logs.

The rafter legs, made of rectangular timber, are installed in 60 cm increments. The rafter leg is foldable. The joint of the two elements of the rafter legs is made in the places of support of the columns.

The lower ends of the rafter legs rest on the outer walls. The rafter legs are supported by a system of girders, struts, struts.

The outer walls of the building are made using 750 mm thick limestone rubble masonry. The masonry of the walls is dense, durable, there is no weathering of the masonry mortar. Foundations – tape from limestone rubble masonry. The foundations for all-wooden posts were made separately.

Columns of the frame – wooden round solid section. The spacing of the columns in the longitudinal direction is 5.7 m. The maximum distance between the columns in the transverse direction is 8.7 m.

The roof is gable. The end of the gable roof is designed in the form of a pediment. The drain is unorganized. The roof is made of profiled sheet of type H without paint and varnish coating according to DSTU B V.2.6-9 according to the volumetric rafter system.

A general view of the wooden frame of one of the fire compartments (grain warehouse No. 2) is shown in Fig. 1 and a cross-section of the building in Fig. 2.



Fig. 1. Internal load-bearing wooden structures of grain warehouse No2

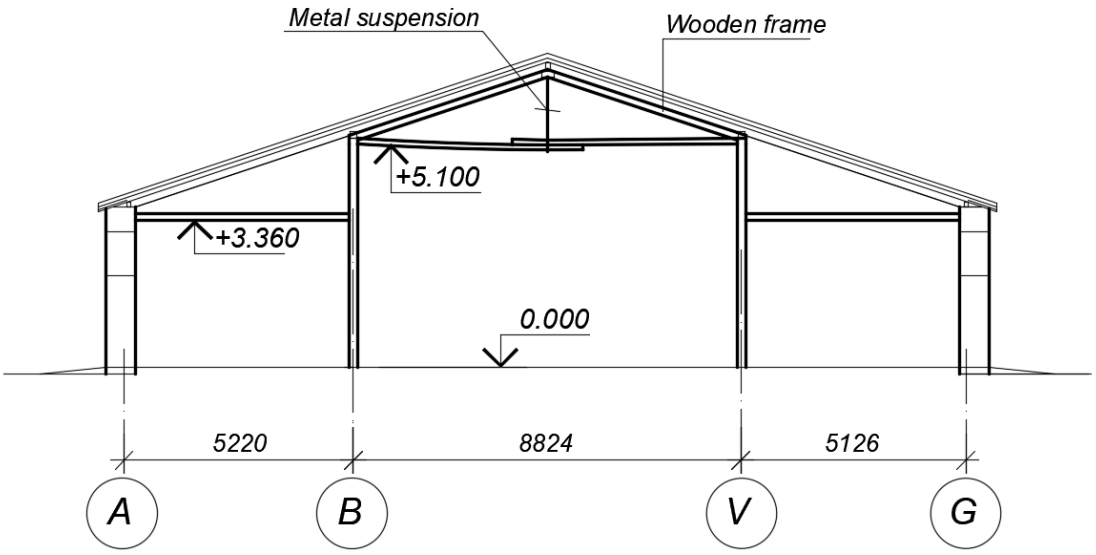


Fig. 2. Cross-section of the grain warehouse No 2

As a result of the inspection of the building during operation, it was found that the wooden frame structures have defects and damage: cracks in the wood of structural elements; deflections of elements.

To assess the bearing capacity of the frame structures of the grain storage building No. 2 according to the norms [11,12], the calculation of the wooden frame was carried out using the design model, which accurately provides for the actual operation of the structure. The calculation of the wooden frame was carried out in the Lira CAD 2013 software package [13] using a static model that takes into account the reliable operation of the structure and supports. Wooden structures must meet the requirements of the calculation of the bearing capacity and in accordance with the specified design schemes. The verification of the bearing capacity and stability of structures was carried out in accordance with the current regulatory document DBN V. 2.6-161: 2017 [14,15].

Loading and impacts were taken into account when designing a structure made of whole wood are taken in accordance with DBN V.1.2-2, taking into account the loading class for the duration of action.

Wooden elements of circular cross-section must meet the requirements of DSTU EN 844-3: 2004, DSTU ENV 1927-2: 2005, DSTU EN 1315-2-2001.

The calculation of the wooden frame was carried out in the following sequence in accordance with the current standards:

- establishment of the design scheme of the frame;
- determination and collection of loading;
- determination of the design forces in the frame elements;
- selection of cross-sections of parts.

The design diagram with added overloads is shown in Fig. 3-5.

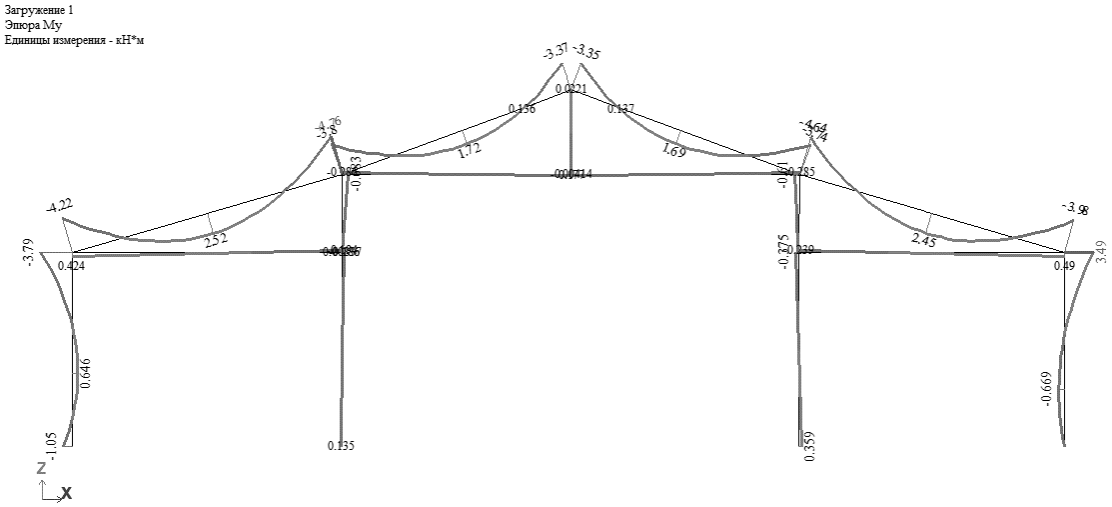


Fig. 3. Diagram of bending moments

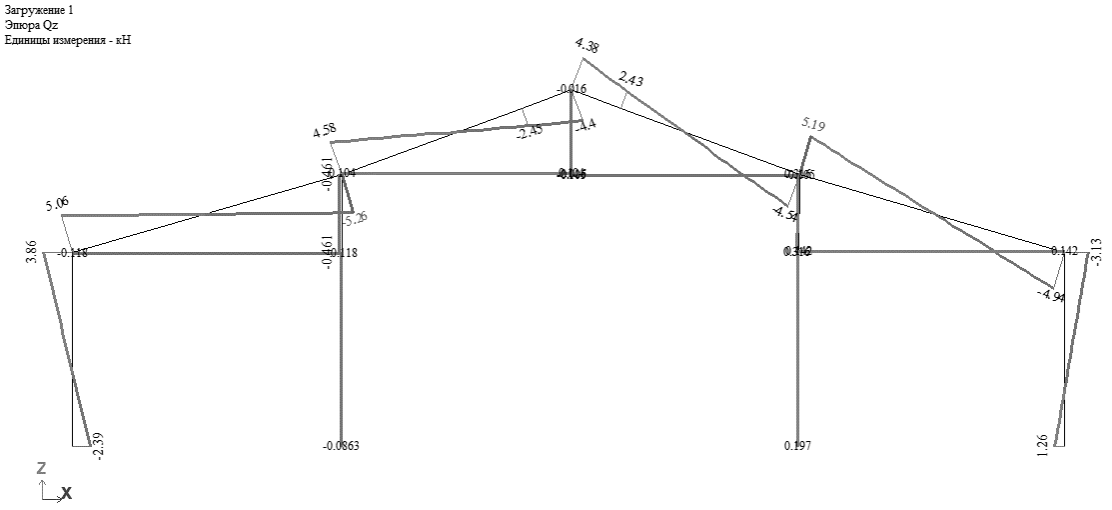


Fig. 4. Diagram of transverse forces

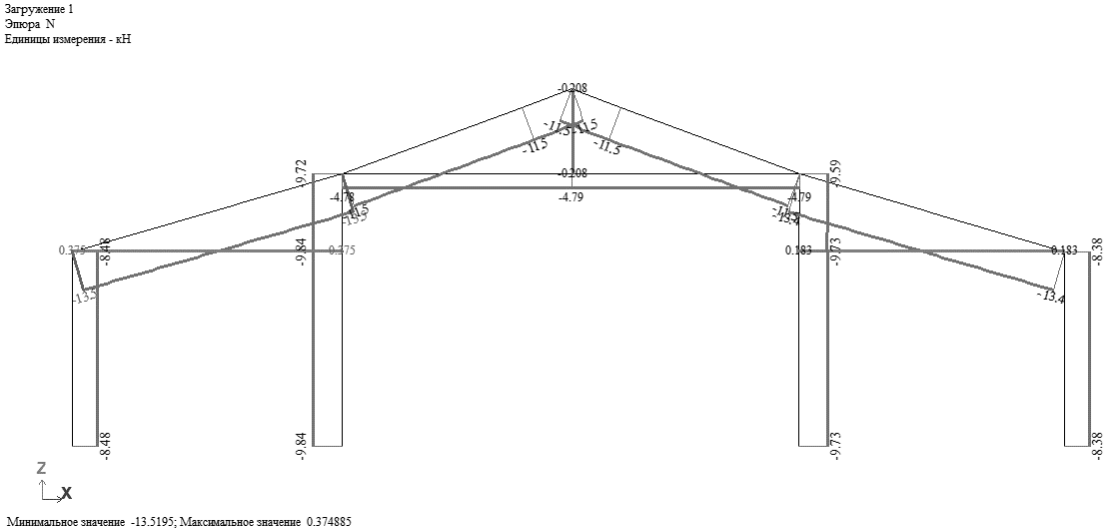


Fig. 5. Diagram of longitudinal forces in the elements of a wooden frame

Conclusions. The section of the existing elements of the wooden frame satisfies according to the calculation. A decision was made to strengthen or replace the lower frame chord due to excessive deflection and replace the metal suspension.

The obtained data were introduced into construction practice during the overhaul of grain warehouse No 2.

References

1. Escalantea M. R., Rougier V. C., Sampaio R., Rosales M. B. Buckling of wood columns with uncertain properties. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*. 2012. Vol. XXXI. P. 2735-2744.

2. Samoilenko E. V., Peshkov V. V. Construction and technical examination of wooden structures (on the example of a wooden country house). *Investments. Construction. Real estate: new technologies and targeted development priorities-2020*: IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, Irkutsk, 2020. Vol. 880. DOI: 10.1088/1757-899X/880/1/012018.

3. Smorchkov A. A., Kereb S. A., Dubrakov S. V. The influence of continuous exploitation on the bearing capacity of wooden elements. *International research journal*. 2016. Vol. 6. P. 137-139 DOI: 10.18454/IRJ.2016.48.011.

4. Jiao J., Xia Q., Shi F. Nondestructive inspection of a brick–timber structure in a modern architectural heritage building: Lecture hall of the Anyuan Miners' Club, China. *Frontiers of Architectural Research*. 2019. Vol. 8, № 3. P. 348-358. DOI: 10.1016/j.foar.2019.06.005.

5. In situ assessment of structural timber using stress-wave measurements / U. Dackermann et al. *Materials and Structures*. 2014. Vol. 47, № 5. P. 787–803. DOI: 10.1617/s11527-013-0095-4.

6. Lourenço P. B., Sousa H. S., Brites R. D., Neves L. C. In situ measured cross section geometry of old timber structures and its influence on structural safety. *Materials and Structures*. 2013. Vol. 46. P. 1193–1208. DOI: 10.1617/s11527-012-9964-5.

7. Riggio M., D'Ayala D., Parisi M. A., Tardini C. Assessment of heritage timber structures: Review of standards, guidelines and procedures. *Journal of Cultural Heritage*. 2018. Vol. 31. P. 220-235. DOI: 10.1016/j.culher.2017.11.007.

8. ДСТУ-Н Б В.1.2-18:2016. Настанова щодо обстеження будівель і споруд для визначення та оцінки їх технічного стану. [Чинний від 2017-04-01]. Київ: ДП "УкрНДНЦ", 2017. 32 с.

9. Клименко Є. В. Технічний стан будівель та споруд: монографія. Одеса: ОДАБА, 2010. 316 с.

10. Гладишев Д. Г., Гладишев Г. М. Дослідження технічного стану будівель, споруд та їхніх елементів: монографія. Львів: Вид-во Львів.

політехніки, 2012. 303 с.

11. ДСТУ Б В.3.1-2:2016. Ремонт і підсилення несучих і огороджувальних будівельних конструкцій та основ будівель та споруд. [Чинний від 2017-04-01]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2017. 67 с.

12. ДБН В.1.2-14-2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об’єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель та споруд. [Чинні з 2019-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 29 с.

13. ДБН В.1.2-9-2008. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об`єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Безпека експлуатації. [Чинні з 2008-10-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 21 с.

14. Программный комплекс Лира-Сапр 2013: учебное пособие / Д. А. Городецкий и др. Киев-Москва, 2013. 376 с.

15. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев’яні конструкції. Основні положення. [Чинні від 2018-02-01]. Київ: Мінрегіон України, 2017. 111 с.

16. Романенко С. М., Андрієвська Я. П. Розрахунок дерев’яної рами будівлі з урахуванням влаштування на покрівлі елементів альтернативної енергії. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини.* Одеса: ОДАБА, 2020. № 24. С. 119-127. DOI: 10.31650/2707-3068-2020-24-119-127.

Стаття надійшла до редакції 10.11.2021 р.

С. М. Романенко, Я. П. Андрієвська
Херсонський державний аграрно-економічний університет

ТЕХНІЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ І РОЗРАХУНОК ДЕРЕВ’ЯНОЇ РАМИ БУДІВЛІ НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ

Анотація

Одним із завдань розвитку України є реалізація програми енергонезалежності. Використання нових технологічних та нетехнологічних інновацій поширено, як на виробничій стороні рівняння енергії (альтернативні джерела, нові передові технології енергозбереження) та на стороні споживання.

Ефективним рішенням для суб'єктів господарювання та виробництва на сьогоднішній день є встановлення сонячних електростанцій на дахах будівель і споруд.

У статті представлені результати обстеження візуально-інструментальним методом у зв'язку з розташуванням сонячних батарей на даху існуючою будівлі складу. Схеми та параметри зовнішніх впливів на дерев’яні частини об’єкта, включаючи фактичні постійні та тимчасові навантаження, з урахуванням власної ваги матеріалів, конструктивних та технологічних особливостей об’єкта.

У зв’язку з підвищенням навантаження було проведено перевірочний розрахунок несучих дерев’яних конструкцій будівлі та розроблено розрахункову модель.

Дослідження виконано з використанням класичних розрахунків структурної механіки та методів комп’ютерного імітаційного експерименту в програмному комплексі «Lira CAD 2013».

Розрахунок дерев'яної рами проводився в такій послідовності відповідно до діючих стандартів:

- встановлення конструктивної схеми рами;
- збір та визначення, діючих навантажень;
- визначення діючих зусиль в елементах рами;
- підбір перерізів елементів.

Аналіз результатів та натурних обстежень дерев’яних конструкцій та їх елементів будівлі зернового складу №2 після експлуатації понад 75 років у змінних температурно - вологісних умовах показав, що несуча здатність та надійність несучих дерев’яних конструкцій незмінна не тільки при наявності різних пошкоджень та дефектів, але й внаслідок природного старіння деревини.

За результатами дослідження розроблено рекомендації щодо відновлення властивостей конструкцій з цільної деревини після їх тривалої експлуатації.

Ключові слова: деревина, рама, зусилля, навантаження, несуча здатність

С. Н. Романенко, Я. П. Андриевская
Херсонский государственный аграрно-экономический университет

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛЕДОВАНИЕ И РАСЧЕТ ДЕРЕВЯННОЙ РАМЫ ЗДАНИЯ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Аннотация

В статье представлены результаты визуального и инструментального обследования несущих конструкций здания в агропромышленном комплексе в связи с расположением на крыше солнечных панелей. Определены постоянные и временные фактически действующие нагрузки на несущие конструкции с учетом собственного веса материалов, конструктивных и технологических особенностей объекта.

В связи с увеличением нагрузки разработана расчетная модель и выполнен проверочный расчет несущих конструкций деревянной рамы с применением классических расчетов строительной механики и методов компьютерного моделирующего эксперимента в программном комплексе «Лира САПР 2013».

Ключевые слова: древесина, рама, усилие, нагрузка, несущая способность.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-7

УДК 631.22.014:636.084.74

В. І. Банга, к.т.н. ORCID: 0000-0002-8241-1107
Львівський національний аграрний університет
e-mail: vasylbanha@gmail.com, тел: +38(067)670-39-80

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИМ ДОЗАТОРОМ З КОНУСНО-ЛОПАТЕВИМ РОБОЧИМ ОРГАНОМ

Анотація. Метою теоретичного дослідження є встановлення впливу конструктивно-технологічних і режимних параметрів конусно-лопатевого робочого органу індивідуального дозатора на потужність процесу дозування.

В статті приведені результати теоретичних досліджень потужності процесу дозування індивідуальним дозатором комбікормів з конусно-лопатевим робочим органом, визначена залежність потужності процесу дозування від частоти обертання, висоти лопаток та їх кількості, діаметра робочого органу дозатора. Досліджено режими роботи та обґрунтовано його конструктивно-технологічні параметри.

Ключові слова: потужність, енергоємність, дозувальний робочий орган, індивідуальний дозатор, сипкий корм.

Постановка проблеми. Одним з основних показників індивідуального дозатора комбікормів є його витрати потужності на яку мають вплив конструктивно-технологічні й режимні параметри [9].

Досліджувати процес доцільно роздільно, за функціональним використанням окремих елементів. Одним із важливих функціонально закінчених елементів є дозатор, який безпосередньо впливає на процес дозування комбікормів [3; 6].

Існуючі дозатори комбікормів є енергоємними і споживають значну кількість електроенергії. Тому дослідження витрат потужності на процес дозування комбікормів індивідуальним дозатором з конусно-лопатевим дозувальним робочим органом є актуальним і перспективним.

Аналіз останніх досліджень. Сучасна технологія ведення тваринництва висуває нові завдання з досконалості існуючих та розробці нових способів приготування кормових сумішей для тварин, що сприяють зниженню втрат живильних речовин та підвищенню їхньої якості. Одним з основних шляхів підвищення продуктивності,

© В. І. Банга

збільшення виробництва продукції та зниження її собівартості є повноцінне годування тварин [4].

Аналіз досліджень типів робочих органів для дозування сипких кормів [3; 8; 10-13] показав, що існуючі об'ємні дозатори з класичною схемою дозування мають значні витрати потужності на процес дозування.

Проведений нами огляд теорій і аналіз процесу дозування сипких кормів [2; 5; 7; 14] дозволяє зробити висновок, що у даних теоріях відсутні теоретичні положення процесу визначення затрат потужності на дозування конусно-лопатевими робочими органами.

Розроблений індивідуальний роздавач-дозатор комбікормів з конусно-лопатевим робочим органом [1] не досліджено за показником витрат потужності.

Формулювання мети статті. Метою теоретичного дослідження є встановлення впливу конструктивно-технологічних і режимних параметрів конусно-лопатевого робочого органу індивідуального дозатора на потужність процесу дозування.

Основна частина. Для дослідження потужності процесу дозування комбікорму конусно-лопатевим робочим органом необхідно визначити енергію, яка витрачається на подолання сил тертя між робочою поверхнею конуса і частинками сипкого комбікорму, опору під час руху лопатки у сипкому середовищі, приведення в рух деякої частинки суміші, тобто надання їй певної кінетичної енергії, втрати потужності на тертя у підшипниках.

Знаходимо потужність процесу дозування за формулою

$$N_{кл} = f_2 \cdot \int_0^{\frac{D_{кл}}{2\cdot\cos\alpha}} N_1 \cdot 2\pi \cdot l \cdot dl \cdot \omega \cdot l \cdot \cos^2\alpha + \int_0^{\frac{D_{кл}}{2\cdot\cos\alpha}} Z \cdot N_3 \cdot h_л \cdot dl \cdot \omega \cdot l \cdot \cos\alpha + \frac{Q_{кл} \cdot \left(\vartheta_l^{\,2} + \vartheta_\varphi^{\,2}\right)}{2}, \qquad (1)$$

Дані інтеграли можна обчислювати чисельними методами, зокрема методом Сімпсона.

На основі формули (1) ми запропонували простішу для наближеного обчислення потужності процесу дозування конусно-лопатевого робочого органу:

$$N_{кл} = f_2 \cdot \left(\frac{\pi \cdot N_1 \cdot D_{кл}^{\,3}}{12} + Z \cdot N_3 \cdot h_л \cdot \frac{D_{кл}^{\,2}}{8} \right) \cdot \frac{\omega}{\cos\alpha} + \frac{Q_{кл} \cdot \left(\vartheta_l^{\,2} + \vartheta_\varphi^{\,2}\right)}{2} + \left(N_2 \cdot \frac{\pi \cdot D_{кл}^{\,2}}{4} + m_{кл} \cdot g \right) \times$$

$$\times f_n \cdot \frac{d_n}{2} \cdot \omega, \qquad (2)$$

де $N_{кл}$ – потужність процесу дозування конусно-лопатевим робочим

органом, Вт;

f_2 – зовнішній коефіцієнт тертя ковзання між елементарним об'ємом комбікорму і дозувальним робочим органом;

N_1, N_3 – сили, що діють на одиницю площі, Па;

N_2 - нормальна сила, Па;

α – кут твірної конуса при його основі, град;

$Q_к$ – продуктивність конусного дозувального робочого органу, кг/с;

$D_{кл}$ – діаметр конусно-лопатевого дозувального робочого органу, м;

Z – кількість лопаток, шт.;

$h_л$ – висота лопаток, м;

$\vartheta_l, \vartheta_\varphi$ – кінцеві значення радіальної і поперечної складової швидкості руху елементарної частинки комбікорму, м/с;

$m_{кл}$ – маса конусно-лопатевого дозувального робочого органу, кг;

$f_п$ – коефіцієнт тертя в підшипниках;

$d_п$ – діаметр підшипника, м;

ω – кутова швидкість обертання конусно-лопатевого дозувального робочого органу, рад/с.

З метою встановлення впливу висоти лопаток $h_л$ і кількості Z при змінному діаметрі конусно-лопатевого дозувального робочого органу $D_{кл}$ та частоти обертання n на потужність процесу дозування $N_к$ проведено за допомогою ПЕОМ моделювання рівняння (2) .

Отримані графічні залежності потужності процесу дозування $N_{кл}$ (рис. 1– 3) від зміни висоти лопаток $h_л$ і кількості Z . З їх аналізу видно, що зі зміною висоти лопаток від $h_л$ = 0,005 до $h_л$ = 0,011 м та діаметра $D_{кл}$ = 0,11–0,2 м потужність дозування $N_{кл}$ майже не змінюється. Зміна кількості лопаток від Z = 1 до Z = 3 шт. призводить до незначного зростання потужності $N_{кл}$.

Максимальна потужність процесу дозування конусно-лопатевим робочим органом досягається за частоти обертання n = 2,5 $с^{-1}$ та його діаметра $D_{кл}$= 0,2 м , висоти лопаток $h_л$ = 0,008 м та кількості Z = 3 шт. і становить $N_{кл}$ = 7,02 Вт.

На рис. 4 показана графічна залежність потужності процесу дозування $N_{кл}$ комбікорму від зміни частоти обертання n конусно-лопатевого дозувального робочого органу та діаметра $D_{кл}$ при обґрунтованих його значеннях висоти лопаток $h_л$ і їх кількості Z .

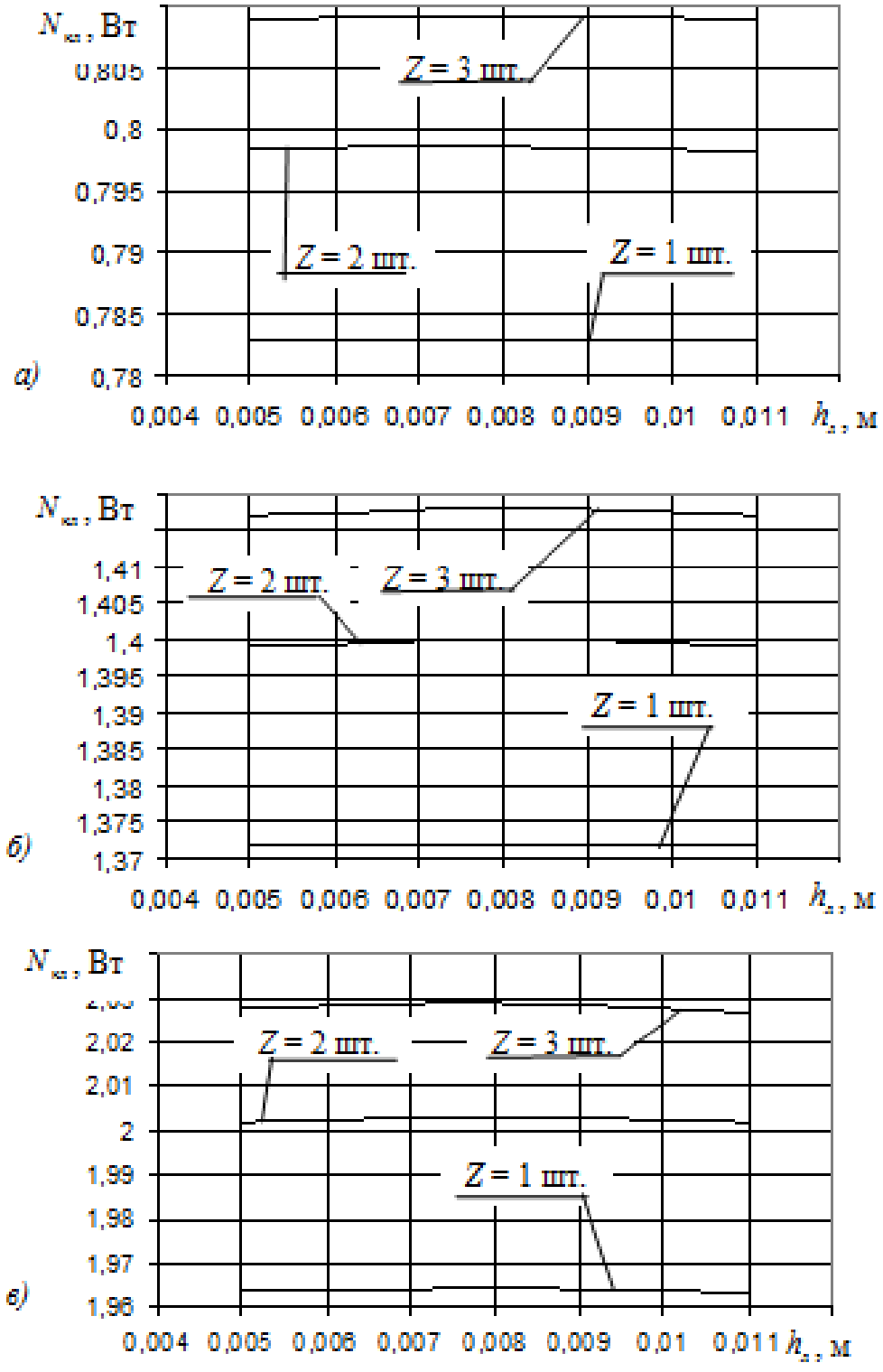


Рисунок 1. Залежність потужності процесу дозування $N_{кл}$ конусно-лопатевим дозувальним робочим органом від зміни висоти лопаток $h_л$ і кількості Z при діаметрі $D_{кл}$ = 0,11 м та частоті обертання: (а) n = 1,0 с$^{-1}$; (б) n = 1,75 с$^{-1}$; (в) n = 2,5 с$^{-1}$.

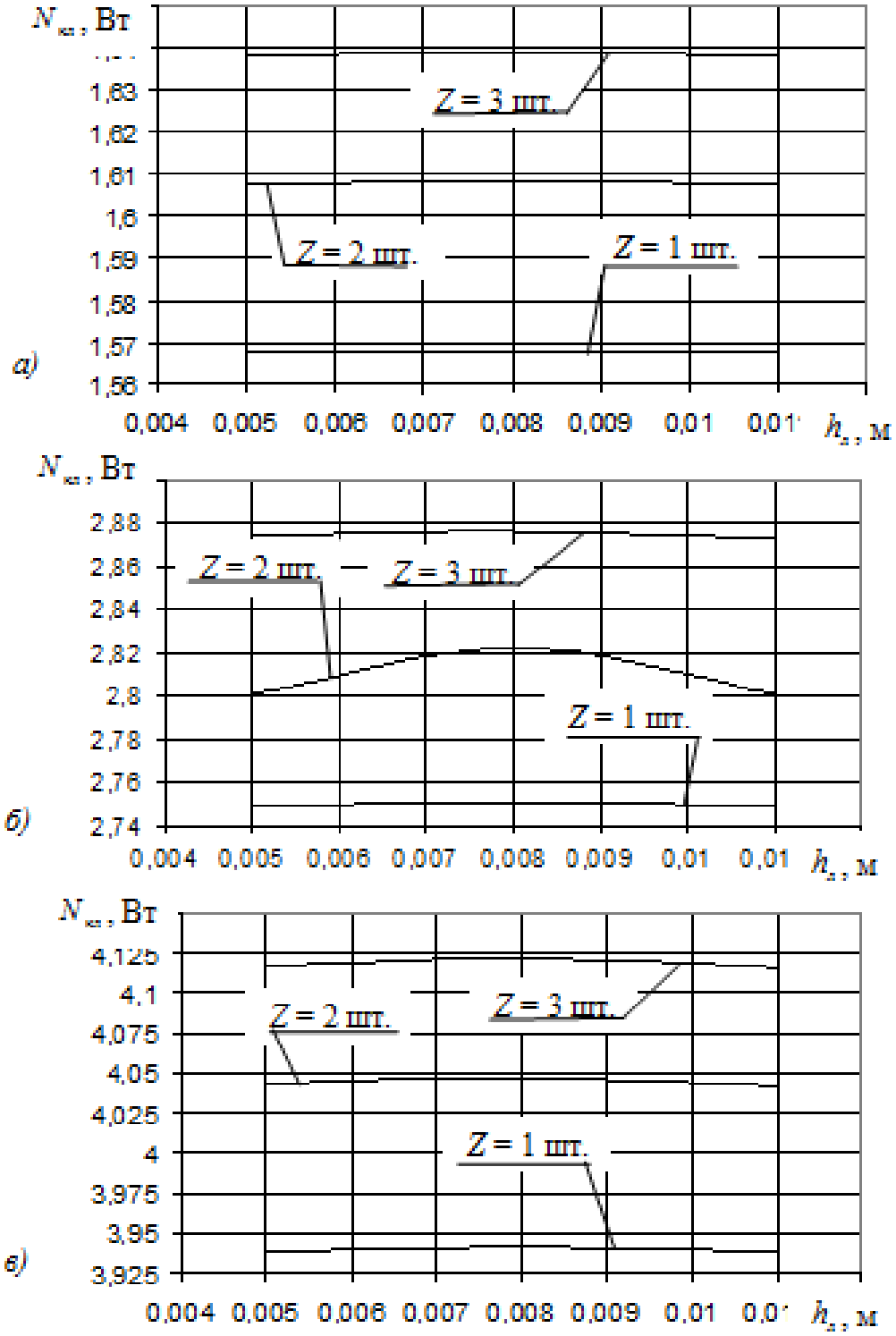


Рисунок 2. Залежність потужності процесу дозування $N_{кл}$ конусно-лопатевим дозувальним робочим органом від зміни висоти лопаток $h_л$ і кількості Z при діаметрі $D_{кл}$ = 0,155 м та частоті обертання: (а) n=1,0 с$^{-1}$; (б) n = 1,75 с$^{-1}$; (в) n = 2,5 с$^{-1}$.

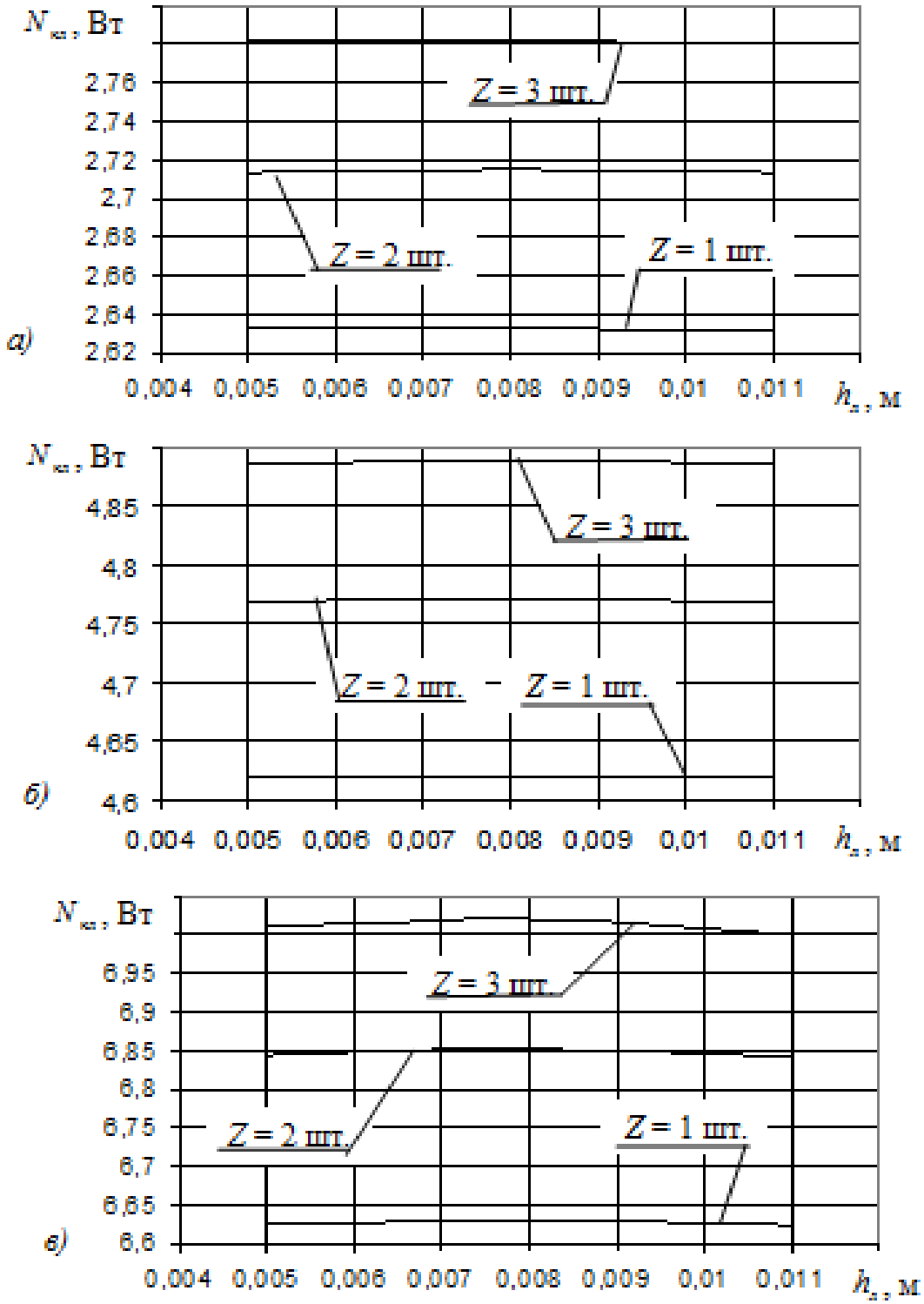


Рисунок 3. Залежність потужності процесу дозування $N_{кл}$ конусно-лопатевим дозувальним робочим органом від зміни висоти лопаток $h_л$ і кількості Z при діаметрі $D_{кл}$=0,2 м та частоті обертання: (а) n=1,0с$^{-1}$; (б) n = 1,75 с$^{-1}$; (в) n = 2,5 с$^{-1}$.

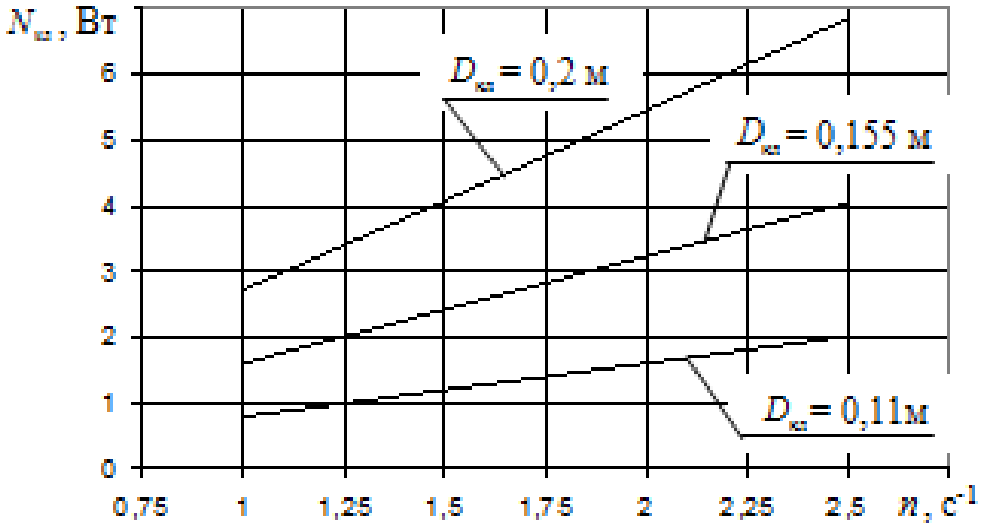


Рисунок 4. Залежність потужності процесу дозування $N_{кл}$ конусно-лопатевим дозувальним робочим органом від зміни частоти його обертання n та діаметра $D_{кл}$.

Проаналізувавши графічну залежність (рис. 4), бачимо, що потужність процесу дозування $N_{кл}$ залежно від зміни частоти обертання робочого органу в межах n = 1–2,5 с$^{-1}$ та діаметра $D_{кл}$ = 0,11–0,2 м має прямолінійний зростаючий характер.

Максимальна потужність досягається за частоти обертання n = 2,5 с$^{-1}$ та діаметра $D_{кл}$ = 0,2 м і становить $N_{кл}$ = 6,853 Вт, а мінімальна – за частоти обертання n = 1,0 с$^{-1}$ та діаметра $D_{кл}$ = 0,11 м.

Висновки. Виконані аналітико-теоретичні дослідження дають можливість визначити теоретичну потужність процесу дозування комбікормів індивідуальним дозатором з конусно-лопатевим робочим органом залежно від частоти обертання, висоти лопаток та їх кількості, діаметра робочого органу дозатора.

Максимальна потужність процесу дозування конусно-лопатевим робочим органом досягається за частоти обертання n = 2,5 с$^{-1}$ його діаметра $D_{кл}$= 0,2 м , висоти лопаток $h_л$ = 0,008 м , кількості Z = 3 шт. і становить $N_{кл}$ = 7,02 Вт, а за частоти обертання n = 2,5 с$^{-1}$ та діаметра $D_{кл}$ = 0,2 м становить $N_{кл}$ = 6,853 Вт. Мінімальна – за частоти обертання n = 1,0 с$^{-1}$ та діаметра $D_{кл}$ = 0,11 м. та становить $N_{кл}$ = 0,9 Вт.

Список використаних джерел

1. Банга В. І., Дмитрів В. Т., Банга Ю. В. Стенд для експериментальних досліджень робочих органів індивідуального роздавача-дозатора комбікормів. *Науковий вісник Національного*

університету біоресурсів і природокористування України. Серія: техніка та енергетика АПК. Київ. 2015. Вип. 212/2. С. 76-81.

2. Банга В. І., Банга Ю. В. Аналіз існуючих теорій процесу роздавання і дозування сипучих кормів. *Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин, вип. 45,ч.* II. Кіровоград: КНТУ, 2015. С.124-129.

3. Бойко І. Г., Скорик О. П., Русальов О. М., Щур Т. Г. Аналіз конструкцій дозаторів сипучих кормів безперервної дії і основні напрямки їх удосконалення. *Механізація сільськогосподарського виробництва. Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка.* Харків, 2004. Вип. 2 9. С. 347-350.

4. Бойко І. Г., Скорик О. П., Русальов О. М., Теоретическое исследование истечения сыпучего материала в решетчатом дозаторе. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва.* 2016. № 1170. С. 77-83.

5. Бойко І. Г., Семенцов В. В. Определение мощности расходуемой на привод гравитационного дозатора. *Международная научно-производственная конференция Белгородской ГСА "Современные проблемы инновационного развития агроинжерии".* Белгород: БГСА им. В.Я. Горина. 2012. С. 105-110.

6. Дмитрив В. Т., Городняк Р. В., Дмитрив Г. М. Аналитическая модель движения частици по поверхности конуса дискового ротационного дозатора-смесителя дисперсных материалов. *Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. Lublin, Rzeszow, 2015. Vol. 17, № 9. P. 79–82

7. Семенцов В. В. Визначення енергетичних витрат на процес дозування сипучих кормів гравітаційним дозатором. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка: технічні системи і технології тваринництва.* 2013. № 132. С. 44-49.

8. Степук Л. Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении. Минск.: Ураджай, 1986. 152 с.

9. Banha V. Experimental investigations of o perating devices of an individual meter of mixed fodder. *TEKA. A QuarterlyJournalof Agrj-foodIndstry* . 2019,Vol. 19. No. 10. p. 25-36.

10. Blodedov V., Nosko P., Boyko G., Fil P., Mazneva M. Parameter optimization of dosator for technique culturs on the quantity intervals, close by to calculation. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2013, Vol. 13, No. 4. p. 18-24.

11. Bodrova E. M., Izdebski W. , Sinielnikov V. M. , Skudlarski J., Zając S. State and Perspectives of Milk Production in the Republic of

Belarus in Comparison with the Condition of the Polish Dairy. *TEKA. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2015. Vol. 15 No. 1. p. 3-8.

12. Pirkelmann H. Kraftfutterfütterung an Milchwein mit 22. Abrufautomaten . 2008. № 31, 11 s. 16–19.

13. Scholtysik B. Untersuchungen an einem Zellenraddosierer mit digitaler Sollwerteingabe. *Grundl. Landtechn*. 2005. № 28, 5 s. 201–204.

14. Billon P. Mecanisationet cotrole de la distribution du concentre pour les vaches laitieres . *Genie rural*. 2004, 68, 11: 409–414.

Стаття надійшла до редакції 6.12.2021 р.

V. Banha
Lviv National Agrarian University

THEORETICAL RESEARCH ON THE POWER OF THE DOSING PROCESS BY AN INDIVIDUAL DISPENSER WITH A CONICAL-BLADE WORKING BODY

Summary

Modern technology of animal husbandry poses new challenges to the perfection of existing and the development of new methods of preparation of animal feed mixtures that help reduce nutrient losses and improve their quality. One of the main ways to increase productivity, increase production and reduce its cost is to fully feed the animals.

The purpose of the theoretical study is to establish the influence of design and technological and mode parameters of the conical-blade working body of the individual dispenser on the power of the dosing process.

To study the power of the feed dosing process by the cone-blade working body, it is necessary to determine the energy expended on overcoming the friction forces between the working surface of the cone and the particles of bulk feed, resistance during blade movement in bulk medium. kinetic energy, power loss due to friction in bearings.

The article presents the results of theoretical studies of the dosing process power by an individual feed dispenser with a conical blade working body, the dependence of the dosing process power on the speed, blade height and number, diameter of the working body of the dispenser. The modes of operation are investigated and its constructive-technological parameters are substantiated.

The maximum power of the dosing process by the conical blade working body is achieved at a speed of n = 2.5 s^{-1} with a diameter of D_{kl} = 0.2 m, blade height h_l = 0.008 m, number of z = 3 pcs. and is N_{cl} = 7.02 W, and at a speed of n = 2.5 s^{-1} and a diameter of D_{cl} = 0.2 m is N_{cl} = 6.853 W. Minimum - at a speed of n = 1.0 s^{-1} and a diameter of Dcl = 0.11 m and is N_{cl} = 0.9 W.

Key words: power, energy consumption, dosing working body, individual dispenser, loose feed.

В. И. Банга
Львовский национальный аграрный университет

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОЩНОСТИ ПРОЦЕССА ДОЗИРОВАНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫМ ДОЗАТОРОМ С КОНУСНО-ЛОПАСТНЫМ РАБОЧИМ ОРГАНОМ

Аннотация

Целью теоретического исследования является установление влияния конструктивно-технологических и режимных параметров конусно-лопастного рабочего органа индивидуального дозатора на мощность дозировочного процесса.

В статье приведены результаты теоретических исследований мощности дозировочного процесса индивидуальным дозатором комбикормов с конусно-лопастным рабочим органом, определена зависимость мощности процесса дозировки от частоты вращения, высоты лопаток и их количества, диаметра рабочего органа дозатора. Исследованы режимы работы и обоснованы его конструктивно-технологические параметры.

Ключевые слова: мощность, энергоемкость, дозировочный рабочий орган, индивидуальный дозатор, сыпучий корм.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-8

УДК 629.33.02

В. В. Дідур, к.т.н. ORCID: 0000-0001-7584-5073
Є. А. Петриченко, к.т.н.
В. Є. Гуцуляк, магістрант
Уманський національний університет садівництва
e-mail: didur.vv@gmail.com , тел: 098-574-96-53

АНАЛІЗ ЗНОСІВ І ДЕФЕКТІВ КОЛІНЧАСТОГО ВАЛУ КОМПРЕСОРА АВТОМОБІЛЯ ТА СПОСОБІВ ЇХ УСУНЕННЯ

Анотація. Перед ремонтною промисловістю стоять завдання підвищення якості ремонту автомобілів, зниження собівартості капітального ремонту як автомобіля загалом, так і його агрегатів, повнішого використання ресурсу, закладеного в конструкцію. Ця робота є складовою досліджень присвячених підвищенню післяремонтної довговічності вузлів тертя компресорів автомобілів. В статті описано призначення та умови роботи компресора, його будову. Надано схему основної деталі компресора – колінчастого валу. Описано його умови роботи та основні дефекти та зноси. Надано технічні умови на колінчастий вал компресора та схему мікрометражних досліджень. Основні статистичні характеристики розподілення зносу по діаметру корінних і шатунних шийок колінчастого валу компресору. Вказані недоліки найбільш економічно ефективних способів усунення дефектів, визначено раціональний спосіб відновлення корінних та шатунних шийок колінчастого валу компресора.

Ключові слова: компресор, колінчастий вал, знос, дефект, спосіб відновлення.

Постановка проблеми. Авторемонтне виробництво сьогодні перекладається на індустріальну основу. Поряд із діючими авторемонтними підприємствами створюються підприємства з фірмового обслуговування та ремонту автомобілів. Особливої ваги набувають роботи, спрямовані на реконструкцію існуючих виробництв з ремонту агрегатів. При цьому основними цілями реконструкції є: вдосконалення технології, модернізація обладнання та оснащення. Вирішуються завдання щодо покращення умов праці, механізації та автоматизації виробництва, а також питання більш ефективного

© В. В. Дідур, Є. А Петриченко, В. Є. Гуцуляк

захисту навколишнього середовища. Перед ремонтною промисловістю стоять завдання підвищення якості ремонту автомобілів, зниження собівартості капітального ремонту як автомобіля загалом, так і його агрегатів, повнішого використання ресурсу, закладеного в конструкцію.

Аналіз останніх досліджень. Проблемам відновлення деталей авто-тракторної техніки, як важливому резерву енерго- та ресурсозбереження в машинобудуванні, присвячені роботи таких науковців, як Б. С. Діллон, К. А. Х. Коббасі, Д. Н. Прабхакар Мурті, О. М. Криворучко, А. П. Яковлева, А. О. Смєлов [1-5]. В роботах Г. І. Дашивець, В. В. Паніної, А. М. Бондаря розглядається питання впливу рівня виробничих ресурсів на якість ремонту машин, також представлені результати дослідження затребуваності послуг технічного сервісу в регіоні, обґрунтуванню вибору обладнання для раціонального способу відновлення колінчастого валу [6-8]

Аналіз результатів наукових досліджень і публікацій підтверджує доцільність продовження вивчення проблеми розвитку технологій і технічних засобів для відновлення деталей авто-тракторної техніки, а також те, що великі потенційні можливості у справі підвищення економічних показників ремонтних підприємств закладено у проблемі відновлення зношених деталей (використання вторинних ресурсів) та підвищення їхньої зносостійкості.

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є визначення дефектів та зносів основної деталі компресора – колінчастого валу, з метою подальшої розробки ефективного технологічного процесу ремонту автомобільних компресорів, який забезпечить їхню надійність у процесі експлуатації.

Основна частина. Компресор входить до складу пневматичної гальмівної системи автомобіля та призначений для нагнітання повітря в ресивери, звідки через гальмівний кран стиснене повітря подається до гальмівних камер колісних механізмів. Компресор працює в жорсткому температурному режимі, він піддається нагріванню як у процесі стискання повітря, так і з боку працюючого двигуна. Деталі компресору працюють в умовах підвищеного тертя, сприймають знакозмінні динамічні навантаження, навантаження від тиску повітря при його стисканні. Також компресор піддається впливу зовнішнього агресивного середовища: пилу, вологи тощо.

Будова автомобільного компресору багато в чому подібна до будови двигуна (за винятком самого процесу внутрішнього згоряння) і за аналогією з двигуном компресор має шатунно-поршневий і клапанний механізми, систему охолодження, мащення та живлення атмосферним повітрям, пристрої приводу та регулювання тиску.

Шатунно-поршневий механізм компресору включає такі основні деталі: один або кілька циліндрів; поршень з поршневими кільцями та шатун, з'єднані поршневим пальцем; колінчастий вал, підшипники якого встановлені в картері компресору.

Клапанний механізм складається зазвичай з автоматичних клапанів, що переміщуються під дією тиску повітря в циліндрі, та їх пружин. В компресорах зазвичай застосовуються плоскі пластинчасті металеві клапани: впускний та випускний (нагнітальний). Сідло впускного клапану буває розташоване в циліндрі або головці, сідло випускного – в головці.

Усі деталі зазначених механізмів компресору, як правило, металеві: циліндр виготовляється із чавуну; головка, картер, поршень – чавунні чи алюмінієві; шатун – сталевий чи алюмінієвий; колінчастий вал – сталевий чи чавунний; клапани, їх пружини та сідла, поршневий палець – сталеві.

Живлення компресору атмосферним повітрям обов'язково проводиться з очищенням через фільтр. З цією метою використовується повітряний фільтр двигуна чи власний автономний фільтр компресору.

Охолодженням компресора вирішуються три завдання: покращення параметрів робочого циклу та підвищення продуктивності компресору, оскільки зниження температури повітря в циліндрі підвищує його наповнення; зниження термонавантаженості деталей компресору, що знаходяться в контакті з нагрітим стисненим повітрям (циліндр, поршень, головка циліндрів, клапани та їх пружини тощо), і тим самим підвищення довговічності цих деталей; зменшення температури масла, яке знаходиться на стінках циліндру, внаслідок чого покращуються фізико-хімічні характеристики масла, що запобігає утворенню нагару. Система охолодження компресору може бути повітряною, водяною чи змішаною. У першому випадку охолодження деталей компресору (циліндра і головки), що найбільш нагріваються, здійснюється за рахунок наявності на їх поверхні великого числа ребер. У другому випадку головка та верхня частина циліндру мають водяні сорочки, в які подається вода від системи охолодження двигуна. При змішаному охолодженні головка охолоджується водою, а циліндр має ребра повітряного охолодження.

Ефективність водяного охолодження значно вища, ніж повітряного. Внаслідок цього поверхня тепловіддачі при повітряному охолодженні повинна бути в 20-30 разів більшою, ніж при водяному. Оскільки досягти цього при існуючих конструктивних обмеженнях практично неможливо, нагрівання компресору з повітряним охолодженням на 20 – 50°С вище, ніж водяним. Різниця в температурі стисненого повітря досягає при цьому 35 – 70°С.

Змащуванням компресору вирішуються наступні питання: зменшення тертя між деталями, що рухаються, і тим самим зниження споживаної компресором потужності двигуна; зменшення температури деталей компресора, що особливо важливо для циліндра, поршня та поршневих кілець; підвищення (за рахунок масляної плівки) ущільнення між поршнем та циліндром; захист деталей компресору від корозії

В автомобільному компресорі є різні види рухомих з'єднань, що труться. Для них використовують мащення розбризкуванням з масляної ванни в картері або примусове мащення від системи мащення двигуна.

Для регулювання тиску в приводі після підвищення до заданого рівня подача стисненого повітря від компресора відключається.

Компресор автомобіля КамАЗ – двоциліндровий (рис.1), з рядним розташуванням циліндрів, живлення атмосферним повітрям здійснюється від повітряного фільтру двигуна, охолодження водяне, мащення примусове від системи мащення двигуна, привід - шестеренний від розподільчих шестерень двигуна. Компресор встановлений у розвалі циліндрів двигуна та кріпиться на передньому торці блоку розподільчих шестерень.

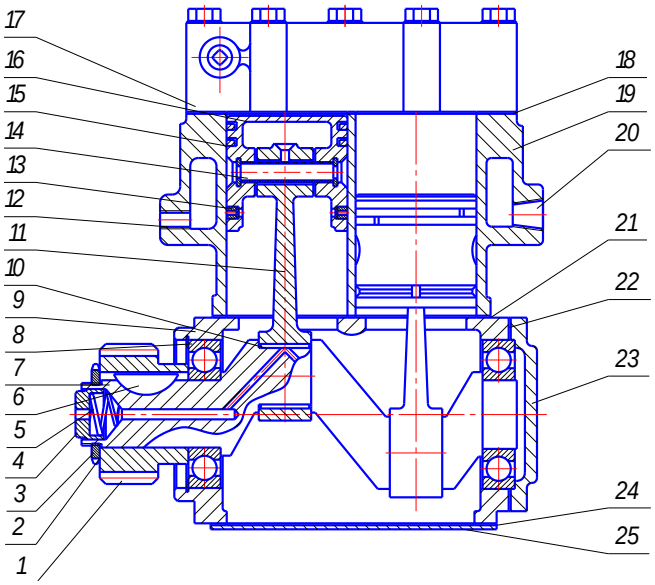


Рисунок 1. Компресор

Компресор має блок циліндрів 19, головку 17, що кріпиться до блоку за допомогою восьми шпильок, і картер 9, закритий знизу нижньою кришкою 25, а ззаду – кришкою 23. У картері 9 на двох шарикопідшипниках 8 обертається колінчастий вал 7. встановлений ущільнювач 4, підтистутий пружиною 5 до штуцера, яким по трубці підводиться масло від системи мащення двигуна під тиском 1-5 кгс/см.

На колінчастому валі 7 встановлені шатуни 11, пов'язані з поршнем 16 за допомогою плаваючих пальців 14. Від осьового переміщення пальці в бобишках поршня фіксуються упорними кільцями. На поршні встановлено поршневі кільця: два компресійні та одне маслознімне.

Колінчастий вал є основною деталлю автомобільного компресору. Він призначений для перетворення обертального руху, що передається від двигуна автомобіля через зубчасту передачу на вал, в зворотно-поступальний рух поршнів компресору, які нагнітають повітря в пневматичну систему керування гальмівними механізмами. У процесі роботи колінчастий вал зазнає значних знакозмінних динамічних навантажень, піддається впливу крутних і згинальних моментів. Деталь під час роботи нагрівається, мастило підводиться примусово від системи мащення двигуна через масляні канали. Технічні умови на колінчастий вал наведені у таблиці 1 [9].

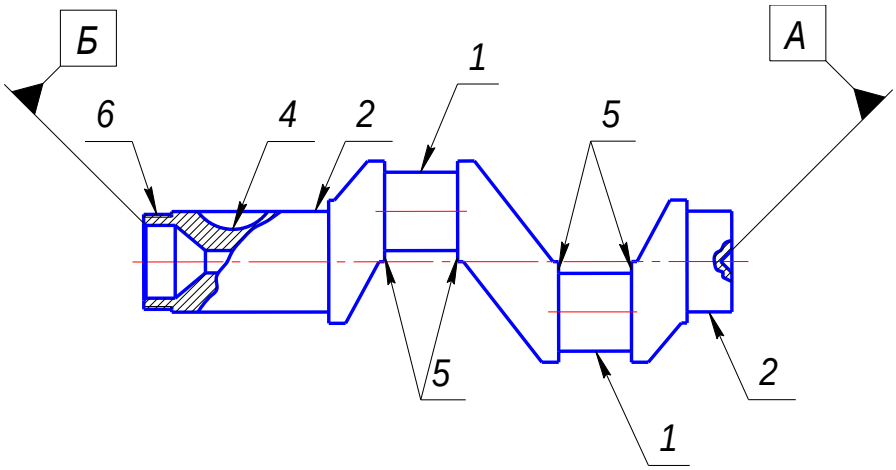


Рисунок 2. Колінчастий вал компресору

Таблиця 1

Технічні умови на колінчастий вал компресору

Позначення (рис.1)	Найменування дефекту	Розміри, мм		Висновок
		Номінальний	Допустимий без ремонту	
1	2	3	4	5
1	Знос шатунних шийок	$28{,}5_{-0{,}021}$	28,47	Перешліфу-вання під рем. розмір; нанесення покриття
		1-ий рем. $28{,}2_{-0{,}021}$	28,17	
		2-ий рем. $27{,}9_{-0{,}021}$	27,87	

Продовження таблиці 1.

1	2	3	4	5
2	Знос поверхонь під шарикопідшипник і шестерню	$35^{+0,020}_{+0,003}$	менше 35	Нанесення покриття
3	Знос поверхні під ущільнювач	$25^{+0,03}$	більше 25,02	Нанесення покриття
4	Знос шпонкового пазу по ширині	$5^{+0,055}_{+0,010}$	більше 5,02	Фрезерувати новий паз
5	Знос торців щік шатунних шийок	$27^{+0,084}$	більше 27,4	Нанесення покриття
6	Зрив різі	М33х1,5	більше 2-х ниток	Бракувати

Биття корінних шийок не повинно перевищувати 0,05 мм.

Овальність і конусоподібність корінних шийок допускається не більше 0,01 мм, а твірні шатунних шийок повинні бути паралельні осям корінних шийок з точністю 0,02 мм на всій довжині.

Шорсткість поверхні корінних і шатунних шийок повинна бути R_a 0,8.

Радіуси галтелей шатунних шийок повинні бути в межах 1-1,5 мм, а корінних шийок – не менше 1 мм.

Колінчастий вал компресору виготовлений зі сталі 40. Шатунні шийки загартовані до твердості 52-62 HRC. Інші поверхні мають твердість 179-229 НВ.

Схема мікрометражних досліджень показана на рисунку 3.

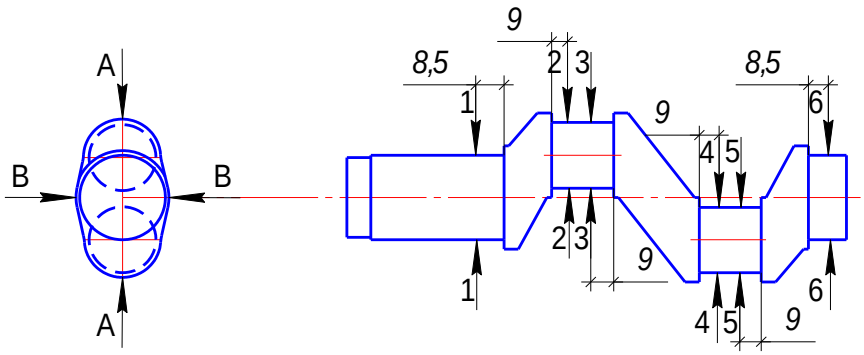


Рисунок 3 Схема мікрометражних досліджень.

Дефектом, який найбільш часто зустрічається, є знос шатунних і корінних шийок. Результати проведених мікрометражних досліджень надано в табл. 2

Таблиця 2

Основні статистичні характеристики розподілу зносу по діаметру корінних і шатунних шийок колінчастого валу компресора

Найменування зношеної поверхні	Середньоарифметичне значення зносу x, мм	Модальне значення M_O, мм	Розмах К, мм	Середньо-квадратичне відхилення G_x,мм
А-А, 1	34,830	34,805	0,180	5,09
В-В, 1	34,843	34,853	0,249	5,328
А-А, 6	34,835	34,809	0,227	5Д
В-В, 6	34,848	34,798	0,202	4,811
А-А, 2	27,819	27,825	0,490	12,008
В-В, 2	27,859	27,823	0,484	12,344
А-А,3	27,816	27,775	0,593	12,937
В-В,3	27,851	27,858	0,491	12,879
А-А, 4	27,819	27,786	0,494	14,705
В-В, 4	27,858	27,821	0,486	12,746
А-А, 5	27,831	27,823	0,495	17,261
В-В, 5	27,847	27,823	0,488	13,402

Виходячи з величини зносу, геометричної форми дефектів, фізико-механічних властивостей відновлюваної деталі було розглянуто наступні можливі способи видалення даних дефектів [10,11]: перешліфування в ремонтний розмір; залізнення; хромування; наплавлення в середовищі CO_2; вібродуговою наплавкою.

Найбільш економічно ефективними методами усунення дефектів є перешліфування в ремонтний розмірі та залізнення. Але перешліфування має обмежене застосування, оскільки більшість валів, що надходять в ремонт, мають розмір менший за ремонтний. Відновлення валу залізненням є проблематичним в даних умовах, через необхідність забезпечення безпечних умов праці та побудови очисних споруд для стокових вод. Так само для отримання необхідної товщини покриття процес залізнення виходить тривалим за часом. В наслідок

вказаних причин найбільш раціональним є відновлення наплавкою в середовищі CO_2.

Висновки. Однією з основних причин зміни технічного стану компресору є знос колінчастого валу, а саме зміна геометричної форми шийок.

При відновленні колінчастого валу компресора найбільш доцільно використовувати спосіб електродугової автоматичної наплавки в середовищі вуглекислого газу з подальшою термічною обробкою, оскільки він має значні переваги перед іншими способами щодо простоти процесу, універсальності, ефективності, надійності, можливості спостереження за формуванням наплавленого шару, низької вартості та недефіцитності захисного середовища, меншим тепловкладенням в наплавлювану деталь. Термічна обробка колінчастих валів дозволяє досягти твердості шийок 48-52 HRC.

Подальші дослідження будуть присвячені розробці ефективного технологічного процесу ремонту автомобільних компресорів, який забезпечить їхню надійність у процесі експлуатації

Список використаних джерел

1. Dhillon B. S. Maintainability, Maintenance, and Reliability for Engineers. Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 214 p.

2. Kobbacy K. A. H., Murthy D. N. P. Complex System Maintenance Handbook. Springer Series in Reliability Engineering: London, Springer Verlag Limited, 2008. 657 p. DOI: 10.1007/978-1-84800-011-7.

3. Криворучко О. М. Менеджмент якості на підприємствах автомобільного транспорту: теорія, методологія і практика: монографія. Харків: ХНАДУ, 2006. 404 с.

4. Yakovleva A. P. Improving the Durability of Machine Parts Using a Combined Method. *Materials Scince Forum*. 2019. P. 37-41. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.946.37 .

5. Novyk O., Panina V., Dashyvets H., Bondar A. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P.177-182.

6. Дашивець Г. І., Паніна В. В., Бондар А. М. Вплив рівня виробничих ресурсів на якість ремонту машин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-20.

7. Дашивець Г. І., Печерська В. С. Дослідження затребуваності послуг технічного сервісу в регіоні. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 593-598.

8. Паніна В. В., Дашивець Г. І., Новик О. Ю. Обґрунтування вибору обладнання для раціонального способу відновлення колінчастого валу. *Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України*. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 273-280.

9. Иванов В. П., Ярошевич В. К., Савич А. С. Ремонт автомобилей: учебное пособие. Минск: Выш. школа, 2009. 383 с.

10. Смєлов А. О. Методика визначення техніко-економічних показників процесу наплавлення в середовищі захисних газів при застосуванні модернізованого зварювального напівавтомата. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-17.

11. Method of Preparation for Restoration of Worn Nitrided Journals of Crankshafts / A. Kulakov et al. *Materials Sciense Forum.* 2021. Vol. 1031. P. 31-36. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1031.31.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2021 р.

V. Didur, E. Petrichenko, V. Gutsulyak
Uman National University of Horticulture

ANALYSIS OF WEARS AND DEFECTS OF THE CRANKSHAFT OF A CAR COMPRESSOR AND WAYS OF THEIR ELIMINATION

Summary

The repair industry is faced with the tasks of improving the quality of car repairs, reducing the cost of overhaul of both the car as a whole and its units, more complete use of the resource inherent in the design. This work is a component of research devoted to improving the post-repair durability of friction units of automobile compressors. The article describes the purpose and operating conditions of the compressor, the device of its mechanisms: connecting rod-piston and valve, cooling systems, lubrication and air supply, drive and pressure control devices. A diagram of the main part of the compressor - the crankshaft - is presented, its purpose, conditions and factors that the part is exposed to during operation are described. The main defects and wear of the crankshaft are described. The technical conditions for the compressor crankshaft and the scheme of its micrometric studies are presented. The most common defect was revealed - the wear of the connecting rod and main journals. The main statistical characteristics of the wear distribution over the diameter of the main and connecting rod journals of the compressor crankshaft are presented. Based on the amount of wear, the geometric shape of the defects, the physical and mechanical properties of the part being restored, the following possible methods of removing these defects were considered: regrinding to a repair size; ironing; chrome plating; surfacing in CO2 environment; vibration arc surfacing. The disadvantages of the most cost-effective ways to eliminate defects are indicated, a rational way to restore the main and connecting rod journals of the compressor crankshaft is determined. The hardness of the surface that can be achieved by the selected recovery method is indicated.

Key words: compressor, crankshaft, wear, defect, recovery method.

В. В. Дидур, Е. А. Петриченко, В. Е. Гуцуляк
Уманский национальный университет садоводчества

АНАЛИЗ ИЗНОСОВ И ДЕФЕКТОВ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА КОМПРЕССОРА АВТОМОБИЛЯ И СПОСОБОВ ИХ УСТРАНЕНИЯ

Аннотация

Перед ремонтной промышленностью стоят задачи повышения качества ремонта автомобилей, снижения себестоимости капитального ремонта как автомобиля в целом, так и его агрегатов, более полного использования ресурса, заложенного в конструкцию. Эта работа является составляющей исследований, посвященных повышению послеремонтной долговечности узлов трения компрессоров автомобилей. В статье описано назначение и условия работы компрессора, устройство его механизмов. Представлена схема коленчатого вала, описаны условия и факторы, влияющие на деталь, основные дефекты и износы. Представлены технические условия на коленчатый вал и схема его микрометражных исследований. Выявлен наиболее часто встречающийся дефект – износ шатунных и коренных шеек. Указаны недостатки наиболее экономически эффективных способов устранения дефектов, определен рациональный способ восстановления коренных и шатунных шеек коленчатого вала компрессора.

Ключевые слова: компрессор, коленчатый вал, износ, дефект, способ восстановления.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-9

УДК 637.134.001.5

Н. І. Болтянська, к.т.н. ORCID: 0000-0002-7887-4715
І. Ю. Маніта, ст. викл. ORCID: 0000-0002-5359-7563
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
Н. Г. Серебрякова, к.п.н.
Білоруський державний аграрний технічний університет
e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЯКОСТІ МОЛОКА ВІД ТЕХНОЛОГІЇ ДОЇННЯ

Анотація. В результаті порушення технологічних та санітарно-гігієнічних умов виробництва молока відбувається його мікробне обсіменіння й механічне забруднення, що може призвести до його псування і, як наслідок, робить молоко не придатним для подальшої переробки. Для запобігання зазначених негативних чинників, необхідно не тільки добре знати технологічні питання, що пов’язані з утриманням, обслуговуванням тварин та обладнання, але й впроваджувати новітні досягнення науки з технології виробництва продукції тваринництва з метою виробництва продукції високої якості у санітарному відношенні. В статті означено фактори, які впливають на молочну продуктивність корів і якість молока та основні вимоги до якості сирого молока. Дослідження, що проводились в одному із господарств Запорізької області на двох різних доїльних установках вітчизняного та закордонного виробництва, розрахованих на 16 скотомісць, показав, що молоко, яке відповідає всім вимогам стандартів, що діють в нашій країні, отримано на доїльній установці закордонного виробництва.

Ключові слова: тваринництво, велика рогата худоба, доїння, технологія, доїльна установка, якість молока.

Постановка проблеми. В результаті порушення технологічних та санітарно-гігієнічних умов виробництва молока відбувається його мікробне обсіменіння й механічне забруднення, що може призвести до його псування і, як наслідок, робить молоко не придатним для подальшої переробки. Для запобігання зазначених негативних чинників, необхідно не тільки добре знати технологічні питання, що пов’язані з утриманням, обслуговуванням тварин та обладнання, але й впроваджувати новітні досягнення науки з технології виробництва

© Н. І. Болтянська, І. Ю. Маніта, Н. Г. Серебрякова

продукції тваринництва з метою виробництва продукції високої якості у санітарному відношенні. Молочна продуктивність корів і якість молока залежать від породи та спадкових факторів, типу годівлі, стану здоров'я тварин, умов утримання, впровадження в технологію виробництва нових технічних засобів і технології доїння, кваліфікації працівників. У всіх країнах світу розроблені стандарти на вироблене молоко, які регламентують його склад. Це пов'язано з тим, що на фермах і комплексах застосовують різноманітні технології з утримання, годівлі, доїння тварин і первинної обробки молока, що значно впливає на якість молока і молочних продуктів [1-3].

У зв'язку з цим основними вимогами до якості сирого молока є: низька кількість загального числа бактерій, в т. ч. маслянокислих і термостійких; обмежене число соматичних клітин і вільних жирних кислот; відсутність інгібуючих речовин (соди, аміаку та ін.), антибіотиків і механічних домішок; висока сенсорна оцінка. У всьому світі особлива увага приділяється мікробному обсіменінню сирого молока [4-6]. Це пов'язано з тим, що мікроорганізми, що розвиваються руйнують біологічно повноцінні речовини, властиві молоку. Наявність в 1 мл молока 200 тис. бактерій не впливає на його якість, при більш високому вмісті мікробів якість починає погіршуватися. Кормові раціони і окремі корми також впливають на кількість бактерій молока. Сухий корм служить джерелом обсіменіння споровими аеробними бактеріями (сінна, картопляна палички), що витримують температуру пастеризації і викликають розщеплення білків молока при тривалому зберіганні його з утворенням гіркого присмаку [7-10].

Молоко корів, хворих на мастит, має бути повністю виключено із загального по стаду. Наявність соматичних клітин в молоці понад 200-250 тис. в 1 мл призводить до зниження жиру, казеїну, лактози, макро- і мікроелементів, а також погіршення його сиропридатності і термостабільності. Доїльні установки різної конструкції (довжина молокопроводу і його розташування) істотно впливають на стабільність жирової фази молока, його якість і здатність до зберігання вироблених з нього молочних продуктів. Наявність інгібуючих речовин (соди, миючих і дезінфікуючих речовин) залежить від якості промивання доїльного обладнання. Значна домішка води в молоці може бути обумовлена неповним видаленням її з молочної системи в кінці доїння. Таким чином, різні технологічні та зоотехнічні фактори на фермах різного типу впливають на якісні показники молока [11-15].

Аналіз останніх досліджень. Аналіз літературних джерел показав, що процес отримання, збору молока, його первинна обробка, зберігання і транспортування є найменш контрольованими виробничими процесами. Останнім часом все більше привертає увагу науковців вивчення дії доїльного обладнання на організм корови і

якість отриманої продукції. Глибокий аналіз закономірностей основних фізіологічних функцій організму високопродуктивних лактуючих корів, механізму доїння, аспектів первинної обробки молока є ефективним засобом для стимуляції молочної продуктивності, використання генетичного потенціалу тварини та перспективності галузі [16-20]. На сьогодні існує багато різноманітного доїльного обладнання для корів. Вплив різного типу доїльних установок на молочну продуктивність корів, процес доїння та безпечність і якість молока досліджують численні вітчизняні дослідники. Зокрема, Палій А.П. встановив характерні особливості застосування різних типів доїльних установок в умовах сучасних молочних ферм [21]. Зволейко Д.В., Марикіна О.С. та Перекрестова Г.В. визначали вплив різних типів доїльних установок на продуктивність корів та процес молоковіддачі [22-24]. Багато уваги сьогодні приділяється питанням застосування технології доїння роботизованими установками та їх впливу на якісні показники молока [25,26]. Тому дослідження впливу технології доїння й первинної обробки на якість отриманого молока залишається актуальним.

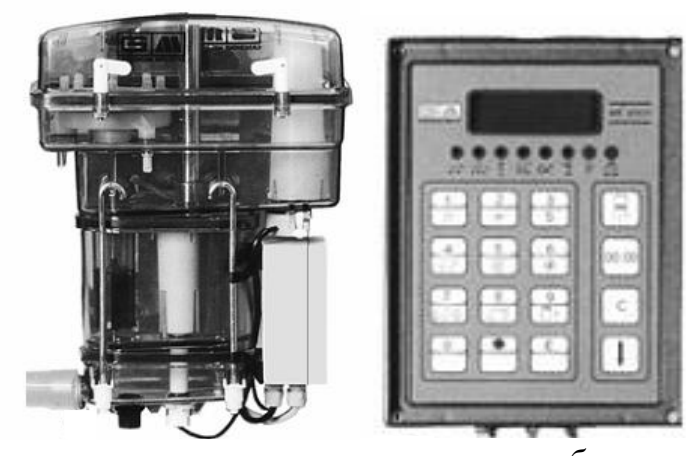
Формулювання цілей статті. Визначити фактори, які впливають на молочну продуктивність корів і якість молока та основні вимоги до якості сирого молока та дослідити залежність якості молока від технології доїння.

Основна частина. Дослідження проводились в одному із господарств Запорізької області на двох різних доїльних установках – УДА-16А і фірми «Babson Brothers-Surge». На фермі застосовуються безприв'язно-боксове утримання тварин і автоматизовані установки для годівлі тварин. Доїння корів здійснюється на доїльній установці УДА-16А і на установці фірми «Babson Brothers». Обидві доїльні установки розраховані на 16 скотомісць. На доїльній установці фірми «Babson Brothers» відбувається ідентифікація кожної корови, після кожного доїння проводиться дезінфекція доїльних апаратів і обробка дійок вимені спеціальними розчинами. Охолодження молока – двоступеневе, зі зберіганням молока в танках-охолоджувачах. Обладнання включає в себе доїльних установку, автоматичні годівниці для роздавання концкормів і комп'ютерний центр, куди надходить вся інформація про тварин. Система розроблена і сконструйована для високопродуктивних корів. Все обладнання виконано з високоякісного матеріалу і розраховане на інтенсивну роботу з малими експлуатаційними витратами, а тому має міцну і надійну конструкцію. У пам'яті комп'ютера закладені всі зоотехнічні параметри тварин, необхідні дані щоденного контролю за доїнням корів, споживанням концентратів, фізіологічним станом і дані за продуктивний рік і лактацію. Автоматизована доїльна установка фірми «Babson Brothers»

має системи підмивання вимені перед доїнням, знімання доїльних стаканів, промивання та дезінфекції їх після кожного доїння корови, одночасного випуску корів з верстатів. Продуктивність установки - 90-100 корово-доїнь/год.

Доїльні апарати з об'ємом молочної камери колектора в 3,5 $см^3$ в поєднанні з вхідним отвором діаметром 16 мм і випускним отвором в 9 мм забезпечують вільний потік молока від дійок при мінімальному вакуумі (40 кПа). Рівень вакууму відрізняється високою стабільністю за рахунок надійності вакуумних насосів, безперервного змащування і споживання фільтрованого повітря, значного резерву ємності молокопроводів. Так, діаметр молокопроводу дорівнює 75 мм, що більше вітчизняного на 37 мм. Треба відзначити, що сам маніпулятор, що забезпечує зняття доїльних стаканів з дійок, відрізняється простотою конструкції і обслуговування. Це – пневмоциліндр, електронний блок керування, шнуровий автомат з напрямним важелем. Важіль утримує підвісну частину доїльного апарату в певному положенні з метою оптимального розподілу її на дійки і розміщення молочного шланга під черевом корови. Стабільний вакуум під дійкою, мінімальна його величина, оптимальний розподіл маси на дійки зводять до мінімуму причини наповзання доїльних стаканів. Заключна фаза доїння проводиться в звичайному режимі доїння, але з витримкою в часі. Знімання доїльних апаратів здійснюється при потоці молока з вимені від 150 до 220 г (величина регулюється в залежності від генотипу молочного стада в господарстві).

Електронний вимірник молока подає сигнал на блок керування (рис. 1).



а *б*

а – вимірник потоку; б – багатофункціональний дисплей з клавіатурою

Рисунок 1. Електронний вимірник молока

Блок керування оснащений системою часової затримки, регульованою від 0 до 70 с. Крім того, так як вимірник молока

безпосередньо з'єднаний з комп'ютером, вбудована звукова сигналізація і світловий сигнал на вимірник молока, що попереджають про якісь неполадки, що виникають в процесі доїння тієї чи іншої корови (передчасне зняття автомата, відсутність молока, захворювання маститом, а також зниження удою поточного доїння у порівнянні з попереднім).

На відміну від традиційних методів виробництва молока застосовані технологічні новинки в системі промивання та дезінфекції як молочного обладнання, так і дійок вимені. В першу, чергу слід відзначити технологію автоматичного промивання доїльних апаратів після доїння кожної корови.



Рисунок 2. Система автоматичного промивання

Після закінчення процесу доїння і зняття доїльного апарату корова виходить зі станка. В цей час через клапан, що перемикається в шланг доїльного апарату і стакани під тиском подається тепла вода для змиву залишків молока і бруду, потім миючий розчин на основі йоду з витримкою 40 с, знову вода, а її залишки видаляються стисненим повітрям. Весь процес промивання триває 60 с. Така система обробки доїльних апаратів виключає перенесення хвороботворної мікрофлори з вимені однієї корови на іншу. Крім того, застосовується загальна промивка доїльного обладнання за годинною програмою з застосуванням спеціальних миючих засобів трьох видів: лужного, кислотного і хлорутримуючого. Обробка дійок після доїння здійснюється з пневматичного розпилювача емульсією складного складу на основі йоду з вмістом гліцерину. Гліцерин утворює плівку, яка пом'якшує, запобігає дійки вимені від сильного забруднення і перешкоджає розвитку на них патогенної мікрофлори. Вітчизняні розробки конструкцій автоматів знімання доїльних стаканів з вимені включають в заключну фазу доїння процес механічного додоювання. У міру вдосконалення конструкції початок механічного додоювання

стало можливим при 450 ± 150 мл молока в хвилину, а зняття доїльних стаканів з вимені – при 200 мл.

Необхідність введення механічного додоювання в програму керування процесом доїння на вітчизняних установках обумовлена цілим рядом причин, основними з яких є недостатня придатність корів до доїння за допомогою автоматів, порівняно низька продуктивність і слабка молоковіддача [27]. Це – зоотехнічні причини. До технічних відносяться, в першу чергу, нестабільність вакуумного режиму, недостатній і нерівномірний розподіл маси підвісної частини доїльного апарату на дійки. Нестабільність вакуумного режиму обумовлена відсутністю запасу потужності вакууму через малий обсяг молокопровідних шляхів, включаючи і молочну камеру колектора. Неможливість створити стабільний вакуумний режим тягне за собою необхідність використання при доїнні вакууму порівняно високого рівня –50 кПа, хоча згідно з інструкцією по монтажу і експлуатації робочий вакуум при роботі всіх доїльних апаратів повинен бути 47 кПа (345 мм рт. ст.) [27,28].

Однак відомо, що з підвищенням вакууму зростають не тільки швидкість виведення молока з вимені, а й імовірність наповзання доїльних стаканів на дійки в останній фазі доїння через збільшення сумарного вакуумного навантаження на тканини. В результаті, при зміні вакууму від 42 до 50 кПа збільшуються швидкість доїння на 6,17%, а витрати на механічне додоювання – на 24,1%. Звідси виникає прямий зв'язок між швидкістю доїння і механічним додоюванням на установках з нижнім розташуванням молокопроводу. Так, коефіцієнт кореляції між середньою швидкістю і машинним додоюванням склав r±0,35 при середніх значеннях цих величин 1,65 кг/хв і 1,40 хв; максимальною швидкістю і машинним додоюванням, відповідно, r ± 0,50 при 2,44 кг/хв / і 1,40 хв. Разом з тим, занадто низька величина швидкості виведення молока небажана: при повільній молоковіддачі (менше 1,2 кг/хв виникає зворотний кореляційний зв'язок з механічним додоюванням r ± 0,60 за рахунок наповзання доїльних стаканів на дійки в заключній фазі доїння, коли наступають їх холості перетримки. Наукові спостереження і аналіз кореляційних зв'язків показали, що швидкість виведення молока 1,5 кг/хв найбільш прийнятна при автоматичному режимі доїння [29,30].

Другою причиною необхідності механічного додоювання на вітчизняній установці УДА-16А є відсутність оптимального розподілу ваги підвісної частини доїльного апарату на дійки. Маніпулятор МДФ-1 недостатньо копіює розташування дна вимені, чому навантаження на дійки, по суті, непередбачуване. У зв'язку з цим спостерігається нерівномірне видоювання чвертей вимені, при якому ручне додоювання по частках коливається від 0 до 800 мл молока, а вміст

жиру в ньому – від 5,82 до 8,04%. Коефіцієнт мінливості даної ознаки по доїнням досягає Cv = 78%. Тільки у 25% тварин мінливість величин ручного додоювання не відрізнялася великим розмахом, у 16,7% – перевищувала всі допустимі коливання.

Нестабільність видоювання долей вимені від доїння до доїння тягне за собою коливання сумарного впливу вакууму на дійки – результат перетримки доїльних стаканів на вже видоєних долях вимені. Зі збільшенням же різниці в часі видоювання окремих долей вимені з однієї до трьох хвилин зростає тривалість механічного додоювання з 39 до 57 с, а кількість молока – з 320 до 480 мл. Коефіцієнт кореляції між «холостим» доїнням часткою і тривалістю механічного додоювання склав r ± 0,4. При нерівномірному видоюванні долей вимені навантаження вакууму на дійки викликає їх деформацію, особливо в період машинного додоювання, коли в два і більше разів збільшується фізичне зусилля на них. Так, при механічному додоюванні до 0,5 хв. подовження дійок склало: передніх – 0,5 см, задніх – 0,3 см; від 0,6 до 1 хв., відповідно, 0,47 і 0,60.

Треба відзначити, що на сьогодні ще існує проблема повного видоювання задніх долей вимені найбільш продуктивних корів, на автоматизованих установках, принаймні, в нашій країні (враховуючи генотип тварин і конструкцію маніпулятора). Так, при доїнні повновікових тварин, починаючи з другої лактації, на установках типу «Ялинка» вітчизняного виробництва кількість ручного додоювання з задніх часток вимені помітно перевищувала кількість додоювань з передніх часток. Ця кількість була більше на АДМ-8 в 1,67 рази, на УДА-16А з маніпуляторами УДБ.10.000 – в 2,89 рази, на МДФ-1 – в 3,19 рази. Зниження повноти видоювання задніх часток сприяло захворюванню їх маститом, особливо субклінічною формою, на 5–12% більше в порівнянні з передніми. На закордонних доїльних установках для рівномірного видоювання часткою передбачені дві позиції: можливість регулювання напряму і розподілу маси доїльних стаканів на дійки за допомогою важеля, регулювання співвідношення тактів смоктання і стиску на задніх долях, збільшуючи такт смоктання з 50 до 55% в залежності від форми вимені корів конкретного стада. На вітчизняних установках регулювання напрямку і розподілу маси стаканів здійснюється за допомогою маніпулятора МДФ-1.

На «Ялинці» основною причиною недостатнього видоювання задніх часток вимені було перетискання молочних трубок доїльних стаканів через неправильну форму вимені. Повністю нівелювати це за допомогою направляючого важеля не вдавалося. Задні частки перевищували передні по ручному додою в 1,5 рази, захворювань на мастит – на 5-7%. За рахунок повільного їх доїння тривалість доїння затягувалася на 40 хвилин для 400 корів. На вітчизняній установці через

нерівномірне видоювання чвертей 15 корів з 200 голів стада перехворіли на мастит, а тривалість доїння 200 корів досягала 3,0-3,5 год. Дослідження, показали, що більш якісне в порівнянні з УДА-16А молоко, яке відповідає всім вимогам стандартів, що діють в нашій країні, отримано на доїльній установці «Babson Brothers-Surge».

Висновки. На закінчення можна сказати, що при існуючій конструкції вітчизняних доїльних установок стаціонарного типу машинне додоювання – необхідний технічний прийом, хоча ефективність його низька. Подальше вдосконалення їх повинно йти не по шляху ускладнення автомата, що виробляє машинне додоювання, а по шляху збільшення обсягу молокопроводу, починаючи з молочної камери колектора, оптимального розподілу маси підвісної частини доїльного апарату на дійки, створення запасу вакууму, удосконалення дійкової гуми. І тільки тоді необхідність машинного додоювання буде виключена, а конструкція доїльного автомата буде простіше і надійніше.

Список використаних джерел

1. Boltianskyi B., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes,* 2021, 9(7), 1144; https://doi.org/10.3390/pr9071144

2. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production:* Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 18–20.

3. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learnin:* Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. *Bordeaux*. 2020. Pp. 478-480.

4. Boltianskyi O.V., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. C. 27-29.

5. Skliar R. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Bilbao. 2020. Pp. 431-433.

6. Boltyanskaya N.I. Indicators of an estimation of efficiency of application of resourcesbutGauci technologies in animal husbandry. *Bulletin of Sumy national agrarian University. A series of "Mechanization and automation of production processes"*. Amount. 2016. Vol. 10/3 (31). 118-121.

7. Podashevskaya H., Sklar R. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

8. Болтянский О.В. Зависимость качественных и количественных показателей молока от качества механической стимуляции вымени. *Актуальные проблемы науч.–техн. прогресса в АПК.* Ставрополь: АГРУС, 2013. С. 8–13.

9. Podashevskaya H. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНУСГ, 2020. №2(16). С. 33 – 37.

10. Болтянська Н.І. Обґрунтування технологічних параметрів механічного стимулювання (масажу) вимені високопродуктивних корів. *Праці ТДАТУ.* Вип.2. Т.5. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. С. 23–30.

11. Manita I. Areas of application of nanotechnologies in animal husbandry. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали. II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 357-361. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/podashevskaya-2020.pdf

12. Болтянська Н.І. Залежність якісних і кількісних показників молока від якості механічної стимуляції вимені. *Сучасні технології аграрного виробництва:* Тези II Міжн. наук.-пр. конф. НУБіП України, Київ: 2016. С. 109–110.

13. Маніта І. Ю. Інноваційний розвиток техніки для молочного скотарства. *Науковий вісник ТДАТУ.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2020-vypusk-10-tom-2.pdf

14. Komar A. S. The influence of technological characteristics of the udder of cows on suitability for machine milking. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. Вип. 11, том 1.

15. Болтянський О.В. Наслідки неправильної переддоїльної стимуляції вимені високопродуктивних корів. Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві: Матеріали VI–ї Науково–технічної конференції. Глеваха, 2018. С. 11–13.

16. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. Pp. 171-176.

17. Boltyansky O. V. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa.* 2016. Vol. 18, No 13. P. 49-54.

18. Скляр О.Г., Скляр Р.В, Маніта І. Ю. Механізація доїння і первинної обробки молока: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 401 с.

19. Болтянська Н.І. Обґрунтування технологічних параметрів механічного стимулювання (масажу) вимені високопродуктивних корів. *Праці ТДАТУ.* Вип.2. Т.5. Мелітополь: ТДАТУ, 2012. С. 23–30.

20. Скляр Р. В. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Б.В. Болтянський. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.

21. Палій А.П. Обгрунтування, розробка та ефективність застосування інноваційних технологій і технічних рішень у молочному скотарстві: автореф. дис. …докт. с.-г. наук: 06.02.04. Миколаїв, 2018. 55 с

22. Зволейко Д.В. Вплив різних типів доїльних установок на процес молоковіддачі, продуктивність корів: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.02.04. Харків, 2016. 21 с.

23. Марикіна О.С. Обгрунтування використання спеціалізованих молочних порід різної селекції за умов інтенсивної технології виробництва молока: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.02.04. Миколаїв, 2015. 19 с.

24. Перекрестова Г.В. Наукове та експериментальне обґрунтування експлуатації корів різних порід та помісей в умовах високотехнологічного комплексу з виробництва молока: автореф. дис. … канд. с.-г. наук: 06.02.04. Дніпро, 2018. 20 с.

25. Boltyanskaya N.I. Justification of choice of heating system for pigsty. *Teka Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*. 2018. Vol. 18. No 1. P. 57–62

26. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific-works of Intern. *Research Practice Conf. "Topical issues of development of agrarian science in Ukraine"*. Nizhin, 2019. Pp. 84–91.

27. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б.В. Болтянський, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

28. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education:* Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. Pp. 231-233.

29. Serebryakova N. Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. Сб. научн. ст. Межд. научно-практ. конф. (Минск, 26–27 ноября 2020 года) Минск: БГАТУ, 2020. С. 276-278.

30. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2021р.

N. Boltianska[1], I. Manita[1], N. Serebryakova[2]
[1]Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
[2]Belarusian State Agrarian Technical University

RESEARCH OF DEPENDENCE OF MILK QUALITY ON MILKING TECHNOLOGY

Summary

As a result of a violation of the technological and sanitary-hygienic conditions of milk production, its microbial contamination and mechanical pollution occurs, which can lead to its deterioration and, as a result, make milk unsuitable for further processing. To prevent these negative factors, it is necessary not only to know well the technological issues related to the maintenance, maintenance of animals and equipment, but also to introduce the latest scientific achievements in the technology of livestock production in order to produce high quality products in sanitary terms. The article describes the factors influencing the productivity of cows and the quality of milk and the basic requirements for the quality of raw milk. Studies that were carried out in one of the farms of the Zaporozhye region on two different milking installations of domestic and foreign production, designed for 16 livestock stalls, showed that milk, which meets all the requirements of the standards in force in our country, was obtained on a foreign-made milking installation.

In a domestically produced milking machine, the main reason for insufficient rear udder visibility was the pinching of the milk tubes of the teat cups due to an irregular udder shape. It was not possible to completely neutralize this with the help of the directing lever. The posterior lobes exceeded the anterior lobes by manual feeding by 1.5 times, mastitis diseases - by 5-7%. Due to their slow milking, the duration of milking was delayed by 40 minutes for 400 cows. On a domestic installation, due to uneven viewing of quarters, 15 cows out of 200 heads of the herd were ill with mastitis.

With the existing design of domestic stationary milking installations, machine milking is a necessary technique, although its effectiveness is low. Their further improvement should not go along the path of increasing the complexity of the machine, which produces machine feeding, but along the path of increasing the volume of the milk pipeline, starting from the milk chamber of the collector, optimal distribution of the weight of the hanging part of the milking machine on the teats, creating a vacuum reserve, improving milking rubber.

Key words: livestock, cattle, milking, technology, milking machine, milk quality.

Н. И. Болтянская [1], И. Ю. Манита [1], Н. Г. Серебрякова [2]
[1]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного
[2]Белорусский государственный аграрный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ КАЧЕСТВА МОЛОКА ОТ ТЕХНОЛОГИИ ДОЕНИЯ

Аннотация

В статье указано, что в результате нарушения технологических и санитарно-гигиенических условий производства молока происходит его микробное обсеменение и механическое загрязнение, которое может привести к его порче и, как следствие, делает молоко непригодным для дальнейшей переработки. Для

предотвращения указанных негативных факторов, необходимо не только хорошо знать технологические вопросы, связанные с содержанием, обслуживанием животных и оборудование, но и внедрять новейшие достижения науки по технологии производства продукции животноводства с целью производства продукции высокого качества в санитарном отношении. В статье приведены факторы, влияющие на продуктивность коров и качество молока и основные требования к качеству сырого молока. Исследования, которые проводились в одном из хозяйств Запорожской области на двух разных доильных установках отечественного и зарубежного производства, рассчитанных на 16 скотомест, показал, что молоко, которое отвечает всем требованиям стандартов, действующих в нашей стране, получено на доильной установке зарубежного производства.

Ключевые слова: животноводство, крупный рогатый скот, доение, технология, доильная установка, качество молока.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-10

УДК 631.331

О. Д. Деркач[1], к.т.н. ORCID: 0000-0002-5537-8022
Д. О. Макаренко[1], к.т.н., ORCID: 0000-0002-3166-6249
Є. С. Муранов[1], ORCID: 0000-0001-9148-217X
А. В. Лободенко[2], к.т.н., ORCID: 0000-0003-4255-7272
[1]*Дніпровський державний аграрно-економічний університет*
[2]*Український державний хіміко-технологічний університет*
e-mail: flymakd@gmail.com

ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ РУХОМИХ З'ЄДНАНЬ ПОСІВНИХ МАШИН ВПРОВАДЖЕННЯМ ПРОГРЕСИВНИХ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Анотація. В статті сформульовано проблеми пов'язані з забезпеченням довговічності рухомих з'єднань посівних машин. Розглянуто основні напрямки впровадження композитних матеріалів в трибоспряження механізмів і машин. Показані недоліки існуючих конструкцій рухомих з'єднань сівалки Maschio Gaspardo серії MT. Запропоновано нову конструкцію трибоспряження важеля опорного колеса посівної секції. Розроблена конструкція дозволяє виконувати регулювання зазору у вказаному трибоспряженні. Результати польових випробувань сівалки Maschio Gaspardo серії MT укомплектованої експериментальними деталями, з полімерно-композитних матеріалів, підтвердили ефективність розробленого технічного рішення. Відхилень в роботі машини не зафіксовано. Позитивним ефектом розробленої технології є відсутність технічного обслуговування та підвищення довговічності рухомих спряжень.

Ключові слова: рухомі з'єднання, довговічність, полімерно-композитні матеріали, трибоспряження, посівні машини.

Постановка проблеми. Виконання технологічних операцій в сільськогосподарському виробництві пов'язано з експлуатацією техніки за умов підвищеної запиленості робочої зони. Основними пиловидними частинками є дрібні частинки ґрунту та культурних рослин. Потрапляння абразивних частинок (пилу) в зону тертя трибоспряжень призводить підвищення інтенсивності їх зношування [1, 2]. Для захисту рухомих спряжень, від цього явища, в їх конструкціях використовують різноманітні ущільнюючі елементи [3, 4] та (або) вводять в зону тертя мастильні матеріали. При цьому, для

© О. Д. Деркач, Д. О. Макаренко, Є. С. Муранов, А. В. Лободенко

деяких трибоспряжень, реалізувати якісну систему захисту від абразивних частинок або складно конструкційно, або недоцільно з економічної точки зору. В такому випадку, рухомі з'єднання механізмів працюють в складних умовах, в режимі сухого тертя, та за присутності значної кількості абразивних частинок. До таких механізмів, відносяться – механізми копіювання поверхні ґрунту посівних та ґрунтообробних машин [5]. Вказані механізми хоч і мають точки для періодичного виконання мащення, проте їх робота не завжди є якісною. Крім того, несвоєчасне проведення технічного обслуговування призводить до утворення в зоні тертя абразивної суміші грунту та мастила, що сприяє підвищеному зносу. Зміна геометричних розмірів деталей трибоспряжень призводить до утворення зазорів, в результаті чого, робота посівних секцій порушується. Значні коливання секцій як у вертикальній та і в горизонтальній площині погіршують якість сівби [6, 7]. Від якості сівби залежить не тільки рівномірність сходів та вчасне входження їх в зиму (для озимих культур), а й ефективність та своєчасність проведення технологічних операцій в системі догляду за рослинами. Все це впливає на кінцевий результат вирощування культури – на її врожайність.

Тому, підвищення довговічності рухомих з'єднань посівних машин є актуальним завданням сьогодення. Серед різноманіття напрямків вирішення вказаного завдання перспективним є впровадження самозмащувальних конструкційних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень. Самозмащувальні конструкційні матеріали отримали широке розповсюдження в галузі машинобудування [5, 8-10]. Відомі позитивні результати щодо використання металів, та їх сплавів, у якості елементів трибоспряжень [11, 12]. Проте, такі матеріали обмежені вузьким діапазоном режимів експлуатації та мають високу вартість. Одними із матеріалів, що здатні працювати в режимі сухого тертя є пластики. Відомі дослідження пов'язані з використанням технології 3D друку для виготовлення елементів трибоспряжень [13], але вони більш актуальні для дрібносерійного виробництва. Для серійного виробництва актуальним є використання недорогих конструкційних пластиків, які здатні забезпечувати низьку собівартість виготовлення готових виробів [14, 15].

В науковій літературі недостатньо висвітлені питання дослідження ефективності впровадження конструкційних пластиків на основі польових випробувань модернізованої техніки. Розробка, виготовлення, випробовування та подальше вдосконалення конструкції трибоспряжень, що не потребують технічного обслуговування, є основою для підвищення довговічності механізмів та машин. Точність роботи механізмів копіювання впливає якість виконання технологічних

операцій. Тому, підвищення довговічності рухомих з'єднань сільськогосподарських машин є актуальним завданням.

Формулювання цілей статті. Розробка трибоспряжень підвищеної довговічності, що не потребують технічного обслуговування під час експлуатації.

Основна частина. Конструкція сівалки Maschio Gaspardo, має рухомі з'єднання паралелограмного механізму копіювання поверхні ґрунту та механізму прикочування, які не потребують мащення. При роботі сівалки, в зону тертя потрапляють абразивні частинки, прискорюючи корозійні процеси (рис.1). В подальшому це призводить до підвищення сили тертя в трибоспряженнях, а інколи до заклинювання рухомих спряжень.



а б

а – вісь паралелограмного механізму копіювання; б – вісь механізму прикочування

Рисунок 1. Осі сівалки Maschio Gaspardo серії MT (напрацювання – 700 га)

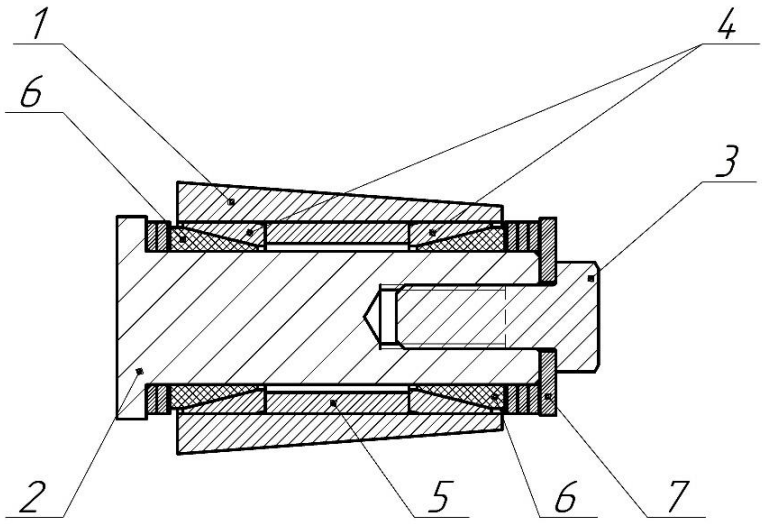
Проведення мащення трибоспряжень, виготовлених зі сталі, не завжди дозволяє захистити їх від інтенсивного зношування (рис. 2).



Рисунок 2. Вісь важеля опорного колеса посівної секції

Тому, існує необхідність у розробці трибоспряжень, що не потребують технічного обслуговування та мають значну довговічність.

Для механізму копіювання опорного колеса запропонована конструкція з можливістю регулювання зазору в трибоспряженнях, що дозволяє зменшувати люфт при спрацюванні її елементів (рис. 3).



1 – важіль опорного колеса; 2 – вісь важеля опорного колеса; 3– кріпильний болт; 4 – суміжна втулка зі сталі; 5 – дистанційна втулка; 6 – конусна втулка зі самозмащувального полімерно-композитного матеріалу; 7 – регулювальні шайби

Рисунок 3. Ескіз трибоспряження важеля опорного колеса посівної секції

Для реалізації запропонованого рішення необхідно виконати механічну обробку важеля під посадку з натягом суміжної втулки зі сталі (поз. 4, рис. 3). Використання регулювальних шайб дозволяє протягом всього періоду експлуатації підтримувати необхідний зазор для забезпечення високої якості роботи механізму. Оригінальний важіль опорного колеса має циліндричну форму, яка не дозволяє виконувати регулювання зазору, між ним та віссю, на якій важіль повертається.

Для рухомих з'єднань паралелограмного механізму копіювання та прикочуючого колеса запропоновано експериментальні деталі з ПКМ типу «грибок».

Загальний вигляд розроблених трибоспряжень наведено на рис. 4.



а б

а – важіль опорного колеса зі зміненою конструкцією та деталь з полімерно-композитного матеріалу для даного вузла; б – встановлена (запресована) деталь з розробленого матеріалу для механізму прикочування

Рисунок 4. Модернізовані рухомі спряження сівалки Maschio Gaspardo серії МТ

Польові випробування сівалки Maschio Gaspardo серії МТ модернізованої, деталями з ПКМ, підтвердили ефективність запропонованого вдосконалення. Проведений мікрометраж по завершенню посівної кампанії показав, що розроблені деталі зносу не мають, і працюють в режимі припрацювання. Відхилень в роботі машини не зафіксовано.

Висновки. Результати польових випробувань підтвердили ефективність технології модернізації посівних машин Maschio Gaspardo серії МТ полімерно-композитними матеріалами. Технологією виготовлення деталей із запропонованого матеріалу передбачено їх повторну переробку.

Позитивним ефектом розробленої технології є ліквідація технічного обслуговування та підвищення довговічності рухомих спряжень. Подальша робота в цьому напрямку буде спрямована на встановлення ресурсу експериментальних деталей з ПКМ.

Список використаних джерел

1. Износ и коррозия сельскохозяйственных машин / М. М. Севернев и др.; под ред. М. М. Севернева. Минск: Беларус. навука, 2011. 333 с.

2. Аулін В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості деталей та робочих органів сільськогосподарської техніки: автореф.

дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.04. Хмельниц. нац. ун-т. Хмельницький, 2015. 36 с.

3. Šteininger J., Spisak P., Brumercik F., Gajdac I. Development of an Additional System for Wheel Bearing Protection. *LOGI – Scientific Journal on Transport and Logistics*. 2020. Vol. 11, № 2. P. 68-75. DOI: 10.2478/logi-2020-0016.

4. Bloch H. P., Thinnes B. HP Reliability: Consider bearing protection for small steam turbines. 2010. URL: https://www.hydrocarbonprocessing.com/magazine/2010/august-2010/columns/hp-reliability-consider-bearing-protection-for-small-steam-turbines (дата звернення: 13.10.2021).

5. Макаренко Д. О. Підвищення довговічності паралелограмного механізму посівних комплексів зміною конструкції рухомих з'єднань: дис. … канд. техн. наук: 05.05.11 / Центральноукр. нац. техн. ун-т. Кропивницький, 2018. 184 с.

6. Sowing Quality Indicators for a Seed Drill With Overpressure / J. Turan et al. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2014. Vol. 62, № 6. P. 1487-1492. DOI: 10.11118/actaun201462061487.

7. Пастухов В. І., Скофенко С. М., Крохмаль Д. В. Обзор конструкцій підвісок сошників сівалок. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.* Харків, 2017. Вип. 180: Механізація сільськогосподарського виробництва. С. 44-48.

8. Machado J., Soares F., Trojanowska J., Ottaviano E. Innovations in Mechanical Engineering. 2021. DOI: 10.1007/978-3-030-79165-0.

9. Деркач О. Д., Буря О. І. Підвищення технічного рівня електро-, автомобільного транспорту та сільськогосподарської техніки за рахунок використання нових матеріалів. Наукові рекомендації. Дніпропетровськ: ДДАУ, 2011. 71 с.

10. Haugk B., Koerber C., Drechsler K. Potential of fibre reinforced plastics in mechanical engineering. 2012. P. 351-370.

11. Mushtaq Shuhaib, Wani M. F., Gachot Carsten Bhat Mohd. Self-Lubricating Iron-Based Metal Matrix Composites. *Tribology and Sustainability*. 2021. DOI: 10.1201/9781003092162-4.

12. Zhang Y., Chromik R. Tribology of Self-Lubricating Metal Matrix Composites. *Self-Lubricating Composites.* 2018. P. 33-73. DOI: 10.1007/978-3-662-56528-5_2.

13. Lee Y., Lee, K., Lee C. Friction performance of 3D printed ball bearing: Feasibility study. *Results in Physics*. 2018. Vol. 10, № 5. P. 721-726. DOI: 10.1016/j.rinp.2018.07.011.

14. Деркач О. Д., Артемчук В. В., Муранов Є. С. До питання технологічності отримання деталей з полімерних композитів для

посівної техніки. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.* Харків, 2017. Вип. 181: Технічні системи і технології тваринництва - Технічний сервіс машин для рослинництва. С. 157-166.

15. Деркач О. Д. Обґрунтування параметрів обертових елементів робочих органів зернозбиральних комбайнів: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.05.11 / Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. Тернопіль, 2006. 20 с.

Стаття надійшла до редакції 27.11.2021 р.

O. Derkach[1], D. Makarenko[1], Ye. Muranov[1], A. Lobodenko[1, 2]
[1]Dnipro State Agrarian and Economic University
[2]Ukrainian State University of Chemical Technology

INCREASING IN SERVICE LIFE OF MOVABLE JOINTS OF SOWING MACHINES BY INTRODUCING PROGRESSIVE CONSTRUCTION MATERIALS

Summary

The article formulates problems related to ensuring the durability of movable joints of sowing machines. The main directions of introduction of composite materials in tribocoupling of mechanisms and machines are considered. The shortcomings of the existing designs of movable joints of the Maschio Gaspardo seeder of the MT series are shown. It is established that during the operation of the sowing machines, abrasive particles get into the friction zone of the tribocouples, accelerating corrosion processes. This in turn leads to increased friction in the tribocompounds, and sometimes to jamming of the movable joints. A new design of tribocouples, lever of the support wheel of the sowing section is proposed. The developed design has an opportunity of adjustment of a backlash in tribocouples that allows to reduce backlash at operation of its elements. It is proposed to use self-lubricating polymer-composite materials in the movable joints of the copying mechanism. The results of field tests sowing machines of the Maschio Gaspardo MT series equipped with experimental parts, made of polymer-composite materials, confirmed the effectiveness of the developed technical solution. No deviations in the operation of the machine were recorded. The conducted micrometering showed that the developed experimental parts do not have wear and working in the running-in mode. It is established that during the operation of the proposed structure there is no wear of adjacent parts made of steel. In the future, this will allow the replacement of worn parts of polymer-composite material, without the additional cost of restoring the geometric dimensions of the tribocouples. The technology of manufacturing parts from the proposed material provides for their reprocessing. The positive effect of the developed technology is the lack of maintenance and increased service life of movable joints.

Key words: movable joints, service life, polymer-composite materials, tribocouples, sowing machines.

А. Д. Деркач[1], Д. А. Макаренко[1], Е. С. Муранов[1], А. В. Лободенко[1, 2]
[1]Днепровский государственный аграрно-экономический университет
[2] Украинский государственный химико-технологический университет

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДВИЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОСЕВНЫХ МАШИН ВНЕДРЕНИЕМ ПРОГРЕССИВНЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

Аннотация

В статье сформулированы проблемы, связанные с обеспечением долговечности подвижных соединений посевных машин. Рассмотрены основные направления внедрения композитных материалов в подвижные соединения механизмов и машин. Показаны недостатки существующих конструкций подвижных соединений сеялки Maschio Gaspardo серии MT. Предложена новая конструкция трибоспряжения рычага опорного колеса посевной секции. Разработанная конструкция позволяет регулировать зазор в указанном трибосопряжении. Результаты полевых испытаний сеялки Maschio Gaspardo серии MT, укомплектованной экспериментальными деталями из полимерно-композитных материалов, подтвердили эффективность разработанного технического решения. Отклонений в работе машины не зафиксировано. Положительным эффектом разработанной технологии является отсутствие технического обслуживания и повышение долговечности подвижных сопряжений.

Ключевые слова: подвижные соединения, долговечность, полимерно-композитные материалы, трибосопряжение, посевные машины.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-11

УДК [504.06:628.4.038]:631.11

Л. М. Чернишова, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-3262-921X
С. І. Мовчан, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0001-8665-482X
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: liudmyla.chernyshova@tsatu.edu.ua

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ПОВОДЖЕННЯ З РІДКИМИ ВІДХОДАМИ ПІДПРИЄМСТВ АГРАРНОГО СЕКТОРУ КРАЇНИ

Анотація. Розглянуто питання забезпечення екологічної безпеки при поводженні з рідкими відходами, які утворюються на промислових підприємствах. Збільшення обсягів споживання води і водних ресурсів, використання різних речовин при обробленні, нейтралізації, утворення нових хімічних з'єднань потребують удосконалення технології і технологічних рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки поводження з рідкими відходами.

Авторами пропонується використання основних компонентів: соди кальцинованої, метасилікат натрію, тринатрій фосфату, триполіфосфату натрію, пірофосфату натрію а також поверхнево активні речовини (ПАР) (синтамід) і акілсульфатів на основі синтетичного миючого розчину «Лабомід-101», які доводять ефективність не лише зневоднення осадів, а й подальшу утилізацію в рамках існуючих інженерно-технологічних рішень.

Ключові слова: синтетичні миючі речовини, відпрацьовані миючі розчини, сода кальцинована, метасилікат натрію, тринатрій фосфат, триполіфосфат, метасилікат натрію, поверхнево-активні речовини.

Постановка проблеми. Забезпечення екологічної безпеки у водогосподарському комплексі країни, є важливою, не лише народно-господарською проблемою, а й техніко-технологічною. Вирішення цілого комплексу задач й завдань можливо із застосуванням новітніх технологій і обладнання, які в повній мірі задовольняють умовам експлуатації водоочисного обладнання.

Насамперед це стосується використання води і водних ресурсів, які використовуються у водному господарстві промислових підприємств. А також використанню відповідних технологічних рішень, які забезпечують вирішення поставлених задач й завдань.

© Л. М. Чернишова, С. І. Мовчан

Розроблені інженерно-технічні рішення, спрямовані на повне та/або часткове вилучення шкідливих забруднень, їх нейтралізацію, або створення для захоронення на відповідних майданчиках тощо. Комплексний підхід, стосовно поводження з рідкими відходами промислових підприємств визначає актуальність і прикладний характер обраного напрямку наукових досліджень.

Аналіз останніх досліджень. Серед вітчизняних спеціалістів, що вирішували питання екологічної безпеки при утилізації та переробленні рідких відходів промислових підприємств, є питання зневоднення осадів міських стічних вод на мулових майданчиках і методи вдосконалення їх роботи. Займалися цим питанням видатні науковці та інженери: С. В. Яковлев, А. Я. Олейник, С. М. Епоян, Н. Н. Веригин, Н. С. Болотских, М. В. Коринько, Р. Ч. Аграноник, Е. В. Двинских, А. И. Терещук, И. С. Туровський, А. З. Евілевич, Т. А. Басова, А. Е. Сорокина та ін.

Питаннями наукових досліджень, поводження з рідкими відходами промислових підприємств, займались науковці і спеціалісти, як у нас в країні так, і за кордоном. Наприклад, M. M. Abdulredha, S. H. Aslina , M. Nikkhah, T. Tohidian, M. R. Rahimpour, A. Jahanmiri, H. Sunab, Q. Wangab, X. Liab, X. Hec, K. Tonga, Y. Zhanga, P. K. Chu.

Авторами запропоновано очищення стічних вод хімічними методами з використанням поверхнево-активних речовин. Досліджено очищення стічної води, із вмістом масел і нафтопродуктів, яка за рахунок утворення емульсійних розчинів, впливає на стан навколишнього природного середовища [1].

Досліджено процеси деемульгації водно-масляних емульсійних розчинів. Ефективність деемульгації становить 90%, зменшення часу на осаджування, необхідне для розділення частинок водно-масляної емульсії досягається за рахунок нанатехнологій із використанням наночастинок диоксиду титану [2].

Авторами пропонується технологія видалення нафти і мастильних матеріалів за рахунок використання поліефір-полікватерного емульгатору [3].

Переваги видалення нафтопродуктів досягаються за рахунок використання хлориду кальцію ($CaCl_2$) з одночасним використанням катіонітових з’єднань [4].

Стабільність видалення масла й мастильних матеріалів досягається при оброблені стічних вод з використанням відцентрових контакторів. Досліджено вплив швидкості ротора відцентрового контактора на швидкість потоку на вході, температуру стічних вод із вмістом мастила і густину на ефективність розділення водно-масляної емульсії [5].

Авторами робіт були запропоновані різні методи утилізації стічних вод гальванічних підприємств. Так, одним з методів був метод

виготовлення вогнетривів на основі зневоднених осадів гальванічних цехів з використанням продукту реакції [6-8].

Формулювання мети статті. Ефективне й екологічно безпечне поводження з рідкими відходами вирішує пов'язані між собою задачі й завдання, які спрямовані на повне та/або часткове забезпечення екологічної безпеки

Мета досліджень полягає у забезпеченні екологічної безпеки при поводженні з рідкими відходами за рахунок дослідження їх кількісного і якісного складу, а так удосконалення технологічної схеми щодо їх комплексної переробки.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні задачі й завдання:

1. Провести аналіз використання хімічних речовин і визначити склад хімічних компонентів на основі синтетичних миючих розчинів, які використовуються при обробленні стічних вод промислових підприємств.

2. Удосконалити технологічну схему оброблення стічних вод, на основі синтетичних миючих розчинів, які забезпечують комплексне поводження з рідкими відходами промислових підприємств.

Основна частина. Використання хімічних речовин в технологіях водопідготовки і водовикористання, а також утилізації відходів – найбільш простий та надійний спосіб забезпечення повного циклу в системах оборотного водопостачання.

Наприклад, спосіб використання легкого та пористого бетону, що виготовлено із золи осаду, який складається із шлаку та бетону, що використовується із золи теплових електричних станцій, хімічний склад якої відповідає відповідним стандартам, склад пористого бетону – цемент: зола : пудра алюмінієва: вода (кг) = 300 : 475 : 0,6 : 200 [9].

Необхідно також відзначити напрямок використання відходів виробництва, які утворюються на цих же та/або суміжних підприємствах водогосподарського комплексу країни.

У способі змащування для форм, для підвищенні якості та міцності залізобетонних виробів, використовується 60 – 90 мас. % водного розчину відпрацьованого миючого розчину «Лабомід» густиною 1,050–1,100 г/м з коефіцієнтом поверхневого натягу (30…50) 10^{-3} кг/с^2, із вмістом 10 … 20 г/л емульсованих мастил та 10…40 мас. % мікронаповнювача – цементного пилу - продукту винесення із печей. При використання змащування для виробів, його зовнішня поверхня категорії A_4 твердістю поверхні 15,9 МПа [10].

Використовуючи останні напрямки, авторами проведено лабораторні дослідження і отримано наступні результати, щодо використання синтетичних миючих розчинів на основі «Лабомід-203» і «Лабомід-101» (табл. 1).

Таблиця 1

Хімічний склад синтетичного миючого розчину, за рахунок використання «Лабомід-203»та «Лабомід-101»

Основний компонент	основа синтетичної миючої речовини					
	«Лабомід-203»		«Лабомід-101»			
	Хімічна формула	Масова (вагова) доля, %	Хімічна формула	Масова (вагова) частка, %		
Сода кальцинована	Na_2CO_3	50	Na_2CO_3	50	50	50
Метасилікат натрію	Na_2SiO_3	10	Na_2SiO_3	10	10	10
Тринатрій фосфат	Na_2PO_3	20	Na_2PO_3	30	20	10
Триполіфосфат натрію	$Na_5P_3O_{10}$	5	$Na_5P_3O_{10}$	-	10	10
Пірофосфат натрію	Na4P2O7	5	$Na_4P_2O_7$	-	-	10
ПАР	синтамід	8	синтамід	8	8	8
Алкілсульфати	-	2	-	2	2	2

В табл. 1 наведено хімічний склад і масова (вагова) доля синтетичного миючого розчину, які досліджено на основі «Лабомід-203» і «Лабомід-101». Таким чином, найбільш оптимальним при використанні синтетичних миючих речовин є «Лабомід-101». При цьому, його вагова частина розподіляється, згідно наведених табличних даних. Рівномірне розподілення, між «натрієвою групою» хімічних речовин, пов’язано з їх однаковим впливом на миючу спроможність. А ефективність, яка досягається при їх використанні, в певній мірі поширює технологічні можливості використання синтетичних миючих речовин для широкого спектру забруднень.

Співвідношення хімічних компонентів до однієї вагової частини Cr^{6+} і ефективність очищення стічних вод, для всіх хімічних речовин, які використано при дослідженні, наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Співвідношення хімічних компонентів до однієї вагової частини Cr^{6+} і ефективність очищення стічних вод

Співвідношення хімічних компонентів до Cr^{6+}		1,0	відсоток
1		2	3
Na_2CO_3	сода кальцинована	0,25 … 2,5	88…91%
Na_2SiO_3	метасилікат натрію	0,05 … 0,5	87…92%
Na_2PO_3	тринатрій фосфат	0,15 … 1,5	89…92%
$Na_5P_3O_{10}$	триполіфосфат натрію	0,15 … 1,5	89…92%
$Na_4P_2O_7$	Пірофосфат натрію	0,15 … 1,5	89…92%
синтамід	ПАР	-	-
-	Алкілсульфати	-	-

Продовження таблиці 2

1		2	3
ПАР	поверхнево-активні речовини	0,15 …0,5	85…90%
$Na_4P_2O_7$	пірофосфат натрію	0,05 … 0,5	86…91%
Na_2CO_3	сода кальцинована	0,25 … 2,5	88…91%
$Na_5P_3O_{10}$	триполіфосфат натрію	0,15 … 1,5	89…92%
$FeSO_4$ $7H_2O$	сірчанокисле закисне залізо	0,10-0,15	88…91%
HNO_3	їдкий натр	0,15…150	87…91%
Al^3	-	10…100	86…92%
-	сталева стружка	50…100	85…90%

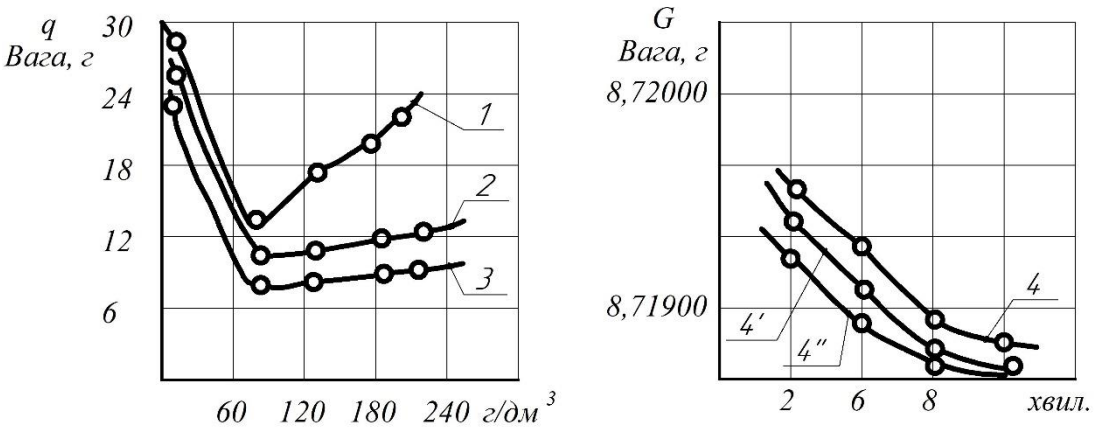
Кількісне співвідношення хімічних компонентів до однієї частини Cr^{6+} і ефективність очищення стічних вод створюють умови для автоматизації виробничих процесів. В тій частині, що можливо використання одного дозатора для всіх речовин разом, або використання на кожний компонент окремого дозатора. Остання обставина значно спрощує умови в використання хімічних компонентів в технології водообробки.

Кількісні показники вагової зміни ваги мастила q, нанесеної на пластину в залежності від концентрації емульгованої олії в миючому розчині на основі "Лабоміду-203" з вмістом 40 г/дм^3 і кінетики зміним ваги пластини G з нанесеним мастилом на основі відпрацьованих миючих розчинів з концентрацією емульсованого масла (г/дм^3)при додатковому перемішуванні розчину нанесено на рис. 1.

Отримані залежності зміна ваги мастила q, нанесеної на пластину в залежності від концентрації емульгованої олії в миючому розчині на основі "Лабоміду-203" з вмістом 40 г/дм^3 визначили граничні умови для значень: 80, 129 і 160 г/дм^3 (рис. 1, а) на рівні 70…75 г/дм^3, що забезпечує певний «перехід» від якісних показників до кількісних. Кількість визначається умовами утворення й накопичення забруднень, що обмежує ефективність подальшого приготування мастила на основі відпрацьованих миючих розчинів, водомасляних емульсій і масломістких шламів.

Залежності зміни ваги пластини *G* з нанесеним мастилом на основі відпрацьованих миючих розчинів з концентрацією 200 г/дм^3 емульсованого масла (рис. 1, б) наочно доводять, що оптимальна кількість обмежена 200 г/дм^3 встановлює вагові межі використання цього компоненту.

Розроблена технологічна схема приготування мастила на основі відпрацьованих миючих розчинів, водомасляних емульсій і масломістких шламів. Установка для приготування мастила буде працювати наступним чином.



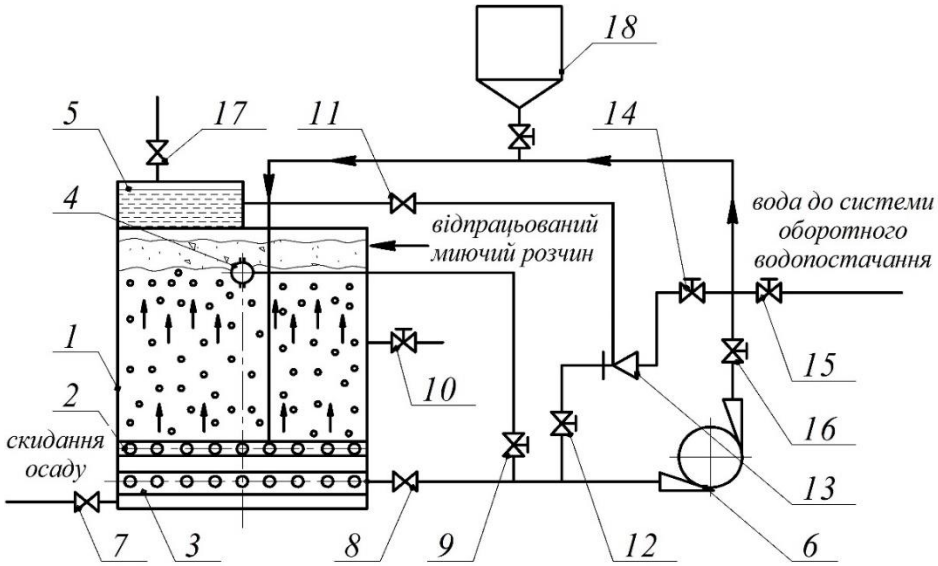
а б

а – зміна ваги мастила q, нанесеної на пластину в залежності від концентрації емульгованої олії в миючому розчині на основі "Лабоміду-203" з вмістом 40 г/дм^3; б - кінетика зміни ваги пластини G з нанесеним мастилом на основі відпрацьованих миючих розчинів з концентрацією емульсованого масла (г/дм^3): 1 – 80; 2 – 120; 3 – 160; 4 – 200, в залежності від часу перемішування.

Рисунок 1. Кількісні показники вагової зміни і зміни кінетики при додатковому перемішуванні розчину

Відпрацьований миючий розчин після попереднього освітлення від грубодисперсних домішок насосом перекачується в збірник-емульгатор, а масляний відходи транспортуються в приймач відпрацьованого масла, який з'єднаний з ежекторним пристроєм. При роботі насоса частина відпрацьованого миючого розчину буде надходити з напірного трубопроводу на ежектор, в якому створюється дозвіл. При цьому обсяг масла, який встановлюється в залежності від початкової концентрації миючого розчину змішується в дифузорі ежектора і надходить у всмоктуючий патрубок насоса для додаткового перемішування в корпусі насоса. Цим підвищується високий ступінь емульгування масла, що підвищує якість приготування мастила. Далі суміш мастила і відпрацьованого миючого розчину надходить до збірки-емульгатор через перфоровану трубу, встановлену в його нижній частині. Частина деемульгірованного масла спливає в верхню частину збірника-емульгатора і через перфоровану збірну трубу, з'єднану зі всмоктуванням патрубком насоса надходить для повторного перемішування.

В табл. 3 наведено вміст забруднень у відпрацьованому миючому розчині з відповідною концентрацією у водному розчині.



1 - збірник-емульгатор; 2 - розподільна труба; 3 - всмоктувальна перфорована труба; 4 - труба повторного збирання деемульгуваного масла; 5 - збірник відпрацьованого масла і водомасляних емульсій; 6 - відцентровий насос; 7 - вентиль скидання осаду; 8 - вентиль подачі миючого розчину; 9 - вентиль повторного (додаткового) перемішування; 10 - вентиль для відбору проби; 11 - вентиль дозування відпрацьованого масла; 12 - вентиль подачі суміші на перемішування; 13 – ежекторний пристрій; 15-вентиль подачі мастила на споживання; 16-вентиль відключення напірної лінії; 17- скидання відпрацьованого мастила та водомасляної емульсії; 18 – миючий розчин.

Рисунок 2. Принципова схема приготування мастила на основі відпрацьованих миючих розчинів, водомасляних емульсій і масломістких шламів:

Таблиця 3

Вміст забруднень у відпрацьованому миючому розчині з концентрацією 8…20 г/л в 15…30% водному розчині

Органічні домішки	Мінеральні домішки	Склад органічної частини				
		масла	смоли	окси-кисло-ти	асфальт-тени	карбо-нати
1	2	3	4	5	6	7
58,5	5,9	33,9	14,2	1,2	1,0	1,1
58,25	5,85	33,7	14,18	1,18	0,95	1,09
58,0	5,80	33,5	14,15	1,16	0,90	1,07
57,75	5,75	33,3	14,12	1,14	0,85	1,05
57,5	5,70	33,1	14,10	1,12	0,75	1,03

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5	6	7
57,25	5,65	33,0	14,05	1,10	0,70	1,01
57,0	5,85	34,45	15,75	1,35	1,12	1,12
59,0	5,85	33,55	14,15	1,25	1,15	1,10
58,75	5,80	33,5	14,15	1,16	0,90	1,07
58,50	5,75	33,3	14,12	1,14	0,85	1,05
58,25	5,70	33,1	14,10	1,12	0,75	1,03
57,55	5,35	32,25	13,75	1,05	1,10	1,15
93,5	39,2	68,1	49,2	13,2	16,6	29,2
93,0	37,5	66,5	47,5	13,15	15,75	29,0
92,75	35,5	64,75	45,5	13,10	15,25	28,5

Таким чином, забезпечення екологічної безпеки при обробленні рідких відходів промислових підприємств вирішує важливу народногосподарську проблему, яка полягає у зменшенні навантаження на водні об’єкти країни і зменшенні антропогенного навантаження на природне середовище.

Висновки.

1. На основі використання СМР авторами запропоновано кількісне співвідношення наступних речовин: сода кальцинована, метасилікат натрію, тринатрій фосфат, триполіфосфат натрію, пірофосфат натрію а також пар (синтамід) і алкілсульфати.

Таке співвідношення дозволяє проводити оброблення рідких відходів за різними еколого-безпечними технологічними рішеннями.

2. Збільшення кількості хімічних речовин, які використовуються в технологічному рішенні, дозволяє поширити застосування різноманітного технологічного обладнання. При чому, використання технологічного обладнання, вирішується окремо в залежності від кількісного і якісного складу стічних вод.

3. Визначений відсоток введення хімічних компонентів до одиниці шестивалентного хрому, дозволяє зменшити об’єми зневодненого осаду і його подальше перероблення та/або утилізацію.

4. Удосконалена технологічна схема, за рахунок введення окремих додаткових елементів, дозволяє забезпечити точність подачі реагентів, за рахунок використання дозатора/дозаторів для подачі хімічних компонентів.

Список використаних джерел

1. Abdulredha M. M, Hussain S. A., Abdullah L. C. Overview on petroleum emulsions, formation, influence and demulsification treatment techniques. *Arabian Journal of Chemistry.* 2020. Vol. 13, № 1. P. 3403-

3428. DOI: 10.1016/j.arabjc.2018.11.014.

2. Nikkhah M., Tohidian T., Rahimpour M. R., Jahanmiri A. Efficient demulsification of water-in-oil emulsion by a novel nano-titania modified chemical demulsifier. *Chemical Engineering Research and Design*. 2015. Vol. 94. P. 164-172. DOI: 10.1016/j.cherd.2014.07.021.

3. Sun H., Wang Q., Li X., He X. Novel polyether-polyquaternium copolymer as an effective reverse demulsifier for O/W emulsions: Demulsification performance and mechanism. *Fuel.* Vol. 263. 116770. DOI: 10.1016/j.fuel.2019.116770.

4. Tong K., Zhang Y., Chu P. K. Evaluation of calcium chloride for synergistic demulsification of super heavy oil wastewater. *Colloids and Surfaces: Physicochemical and Engineering Aspects.* 2013. Vol. 419. P. 46-52. DOI: 10.1016/j.colsurfa.2012.11.047.

5. Hao M., Bai Z., Wang H., Liu W. Removal of oil from electric desalting wastewater using centrifugal contactors. *Journal of Petroleum Science and Engineering.* 2013. Vol. 111. P. 37-41. DOI: 10.1016/j.petrol.2013.10.017.

6. Синюшкин А. Н., Супрунчук В. И., Иванюк Е. В., Костоглод О. Б. Утилизация гальванических шламов. *Восточно-европейский журнал передовых технологий.* 2012. № 2/14 (56). С. 58-61.

7. Мовчан С. І., Чернишова Л. М. Забезпечення екологічної безпеки утилізації осадів стічних вод шляхом отримання вогнетривів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.* 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-11.

8. Chernyshova L., Movchan S., Epoyan S. Utilization of Galvanic Enterprises Sewage. *Material Science Forum.* 2021. Vol. 1038. P. 282-289. DOI: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.282.

9. Дрозд Г. Я., Изотов Н. И., Маслак В. Н. Технико–экономические записки по проблеме утилизации осадков городских и промышленных сточных вод. Донецк: ИЭП НАН Украины, 2001. 340 с.

10. А. с. 1668151 СССР, МКИ В28 В7/38. Смазка для форм / Н. И. Бунин, Л. И. Дворкин, И. А. Шамбан. № 466452/33; заявл. 30.03.89; опубл. 07.08.91. Бюл. № 29.

Стаття надійшла до редакції 14.11.2021 р.

L. Chernyshova, S. Movchan
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

ENSURING ENVIRONMENTAL SAFETY OF BEHAVIOR WITH LIQUID WASTE OF ENTERPRISES OF THE AGRICULTURAL SECTOR OF UKRAINE

Summary

The issue of ensuring environmental safety when dealing with liquid waste generated at industrial enterprises is considered. An increase in the consumption of water

and water resources, the use of various substances in processing, neutralization, and the formation of new chemical compounds requires improvement of technology and technological solutions aimed at ensuring the environmental safety of behavior with liquid waste.

The authors propose the use of the main components: soda ash, sodium methylsilicate, trisodium phosphate, sodium tripolyphosphate, sodium pyrophosphate, as well as surfactants (surfactants) (synthamide) and akyl sulfates based on the synthetic detergent solution "Labomid-201", which prove the effectiveness of not only waste dehydration, but also further disposal within the framework of existing engineering solutions.

The general technological scheme of preparation of oil on the basis of the spent washing solutions will consist of the receiver of the fulfilled oil which will arrive from a test site of diesel and a collection of oil sludge of a site of washing, a collection emulsifier of oil, the pump for mixing, the ejector device. The spent washing solution after preliminary clarification from coarse impurities is pumped by the pump into the collector-emulsifier, and oil waste is transported to the receiver of the fulfilled oil which is connected to the ejector device. The mixture of oil and waste detergent solution enters the assembly-emulsifier through a perforated pipe installed in its lower part. Part of the demulsified oil floats to the top of the collector-emulsifier and through a perforated collecting pipe connected to the suction pipe of the pump is fed for re-mixing

Key words: synthetic detergents, waste detergent solutions, soda ash, sodium methyl silicate, trisodium phosphate, sodium tripolyphosphate, sodium metasilicate, surfactants.

Л. М. Чернишова, С. И. Мовчан
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОВЕДЕНИЯ С ЖИДКИМИ ОТХОДАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ АГРАРНОГО СЕКТОРА УКРАИНЫ

Аннотация

Рассмотрен вопрос обеспечения экологической безопасности при поведении с жидкими отходами, образующимися на промышленных предприятиях. Увеличение потребления воды и водных ресурсов, использование различных веществ при обработке, нейтрализации, образовании новых химических соединений требует усовершенствования технологии и технологических решений, направленных на обеспечение экологической безопасности поведения с жидкими отходами.

Авторами предлагается использование основных компонентов: сода кальцинированная, метилсиликат натрия, тринатрий фосфат, триполифосфат натрия, пирофосфат натрия, а также поверхностно-активные вещества (ПАВ) (синтамид) и акилсульфаты на основе синтетического моющего раствора «Лабомид-201», которые доказывают эффективность не только обезвоживания отходов, но и дальнейшую утилизацию в рамках существующих инженерно-технических решений.

Ключевые слова: синтетические моющие вещества, отработанные моющие растворы, сода кальцинированная, метилсиликат натрия, тринатрий фосфат, триполифосфат натрия, метасиликат натрия, поверхностно-активные вещества.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-12

УДК 631.173:631.95.003.1

І. М. Грицаєнко, ст. викл. ORCID: 0000-0001-6095-4023
Г. І. Грицаєнко, к.е.н., доцент ORCID: 0000-0001-7168-2836
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь
halyna.hrytsaienko@tsatu.edu.ua

ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА: ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТ

Анотація. Мета статті – дослідити забезпечення технікою сільськогосподарських товаровиробників з врахуванням еколого-економічних критеріїв.

У дослідженні використано діалектичні методи пізнання, у тому числі монографічний (аналіз наукових публікацій щодо технічного забезпечення аграрного виробництва, його сталого розвитку, впливу техніки на навколишнє середовище) та абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формулювання висновків) методи.

Досліджено наявність та купівлю сільськогосподарської техніки, а також взаємозв'язок капітальних інвестицій в машини, обладнання, інвентар та транспортні засоби з обсягами викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами. Визначені можливі ризики негативного впливу на навколишнє середовище, які можуть проявлятися на різних етапах використання сільськогосподарської техніки, запропоновано шляхи їх подолання.

Ключові слова: технічне забезпечення, аграрне виробництво, сталий розвиток, капітальні інвестиції, викиди забруднюючих речовин, утворення відходів, еколого-економічні критерії.

Постановка проблеми. Головним чинником розвитку аграрного сектору національної економіки є технічна забезпеченість сільськогосподарських товаровиробників. На жаль, в країні склалася складна ситуація щодо оновлення, технічного переозброєння вітчизняних агроформувань, що зумовлює не тільки технологічне відставання національного аграрного сектору, але й суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище. Це обумовлює актуальність та потребу комплексного дослідження питань формування новітньої системи матеріально-технічного забезпечення, впровадження у виробництво інноваційних видів техніки, розробки

© І. М. Грицаєнко, Г. І. Грицаєнко

організаційно-економічного механізму інноваційно-орієнтованого розвитку аграрного виробництва з врахуванням еколого-економічного аспекту.

Аналіз останніх досліджень. В останній час науковці еколого-економічні та соціальні проблеми розглядають комплексно, об'єднуючі їх поняттям «сталий розвиток». При цьому особливості сталого розвитку аграрної сфери виокремлюють І. О. Термоса [1], В. В. Гарбар [2], О. Л. Попова [3], Л. В. Забуранна [4] та інші дослідники.

Ключовим ресурсом аграрного виробництва є техніка, наявність та використання якої мають суттєвий вплив на головні складові сталого розвитку. В цьому контексті викликає інтерес публікація М. Ялета, Ф. Баудрона, Б. Крівокапіч-Скоко та О. Еренстеіна, які розглянули механізацію сільського господарства і скорочення використання обробітку ґрунту в контексті стійкої інтенсифікації сільського господарства країн, що розвиваються [5]. Д. Ловареллі, Й. Баценетті та М. Фяла здійснили визначення навантаження на навколишнє середовище альтернативних варіантів оранки, при цьому з врахували не тільки особливості місцевих умов, але й характеристики техніки [6].

С. Банерйее і Р. М. Пунекар визначили, що проєктування і розвиток механізації сільського господарства, які зосереджені лише на проблемах вартості сільськогосподарської техніки, підвищенні інтенсивності вирощування культур і зниженні витрат, призводять до виникнення згубних наслідків для сільськогосподарських угідь і навколишнього середовища, що в цілому може відбитися на порушенні в соціально-економічній структурі місцевої економіки, заснованої на сільському господарстві [7]. С. В. Приор, Й. Смітгерс, П. Лине та ван Антверпен Р. в ході дослідження визначили вплив рівня механізації аграрного виробництва на ущільнення ґрунту, що безпосередньо призводить до зниження врожайності сільськогосподарських культур, а також пропорційного збільшення енерговитрат і викидів парникових газів [8].

Вважаємо актуальним дослідження Н. Банаеяна і П. Поургеязи, які з міркувань того, що механізація в сільськогосподарському секторі вимагає прийняття зважених рішень про вибір технологій з врахуванням фінансових і нефінансових факторів, дослідили екологічні і технічні аспекти при виборі сільськогосподарської техніки [9]. Крім того, привертає увагу публікація С. М. Алімагама, А. Солтані, Е. Зеіналі і Г. Каземі, які проаналізували енергетичні потоки і викиди парникових газів у проєктах вирощування сої з використанням чотирьох виробничих сценаріїв, для визначення та подальшого розповсюдження в регіоні найбільш економічно ефективних і екологічно безпечних [10]. Й. Ланґ, Й. Тян, И. Жоу та інші дослідники розробили комплексний кадастр викидів з високим просторово-

тимчасовим дозволом для сільськогосподарської техніки в Китаї для аналізу впливу на навколишнє середовище та клімат, а також обґрунтування політики контролю викидів і моделювання якості повітря [11]. М. Їанґ, Х. Гу, Й. Чунґа, З. Лін, Р. Феі звернули увагу на екологічні проблеми, викликані швидкою популяризацією механізації сільського господарства і збільшенням енерговитрат в сільськогосподарському виробництві Китаю [12].

Безумовний зв'язок зі сталим розвитком аграрного виробництва мають питання інвестування в енергоефективність [13] та екологію [14].

Незважаючи на наявність публікацій з питань технічного оснащення аграрного виробництва, а також його сталого розвитку, залишаються недопрацьованими проблеми еколого-економічного орієнтування технічного забезпечення аграрних товаровиробників, що обумовлює актуальність обраної теми.

Формулювання цілей статті (постановка завдання) – дослідити забезпечення технікою сільськогосподарських товаровиробників з врахуванням еколого-економічних критеріїв.

Основна частина. Одним з суттєвих факторів аграрного виробництва є сільськогосподарська техніка, динаміка наявності окремих видів якої наведена в табл. 1.

Таблиця 1

Динаміка наявності окремих видів сільськогосподарської техніки в Україні, шт.

Види техніки	2015	2016	2017	2018	2019	Відхилення 2019 р. (+, -)	
						від 2015	від 2018
Трактори	309716	339829	347111	377306	310607	891	-66699
Комбайни	56328	52714	51611	42925	41110	-15218	-1815
Сівалки	159331	165961	193809	195922	189013	29682	-6909
Плуги	360496	333599	336646	351830	310249	-50247	-41581
Культиватори	198844	183722	189093	210156	192660	-6184	-17496
Борони	621375	570675	581578	524819	502567	-118808	-22252

Джерело: складено авторами за даними Державної служби статистики України.

За період з 2015-го по 2019-й роки кількість наявної сільськогосподарської техніки в Україні мала значні коливання за роками, але за основними видами загальна тенденція – скорочення. В 2019-му році порівняно з 2015-м роком кількість наявних тракторів збільшилась на 891 шт. (середньорічний темп приросту становив 0,1%) але порівняно з попереднім 2018-м роком навпаки, зменшилась на 66,7

тис. шт., сівалок порівняно з 2015-м роком на 29,7 тис. шт. (середньорічний темп приросту 4,4%). В той же час кількість комбайнів у 2019 р. порівняно з 2015-м роком скоротилася на 15,2 тис. шт. (середньорічний темп скорочення 7,6%), борін відповідно на 118,8 тис. шт. (середньорічний темп скорочення 5,2%), плугів – на 50,3 тис. шт. (середньорічний темп скорочення 3,7%), культиваторів – на 6,2 тис. шт. (середньорічний темп скорочення 0,8%).

В табл. 2 наведені дані про кількість нової сільськогосподарської техніки, яку придбали сільськогосподарські підприємства за період 2015-2019 роки.

Таблиця 2

Купівля аграрними підприємствами нової сільськогосподарської техніки, шт.

Показник	2015	2016	2017	2018	2019	Відхилення 2019 р. (+, -)	
						від 2015	від 2018
Трактори	2095	3777	3688	3105	2109	14	-996
Плуги	1117	1616	1786	1483	924	-193	-559
Культиватори	1300	2122	2374	1828	1330	30	-498
Борони	1510	2443	2740	2505	1974	464	-531
Сівалки	1602	2215	2322	1718	1323	-279	-395
Комбайни зернозбиральні	479	902	1026	576	487	8	-89

Джерело: складено авторами за даними Державної служби статистики України.

Так, в 2019-му році порівняно з 2015-м роком скоротилась кількість придбаних плугів та сівалок відповідно на 193 та 279 шт. Але порівняно з попереднім 2018-м роком спостерігається значне скорочення купівель нової техніки: тракторів на 996 шт., плугів – на 559 шт., культиваторів – на 498 шт., борін – на 531 шт., сівалок – на 395 шт., зернозбиральних комбайнів – на 89 шт.

Скорочення купівель нової сільськогосподарської техніки супроводжувалось суттєвим збільшенням середніх цін (табл. 3).

В 2019-му році порівняно з 2015-м роком середні ціни на сівалки зросли в 2,3 рази, на плуги відповідно в 1,8 рази, на трактори, культиватори – в 1,7 рази, на комбайни зернозбиральні – в 1,5 рази, на борони – в 1,4 рази. В 2019-му році порівняно з попереднім 2018-м роком середні ціни на трактори збільшились на 7,5%, на сівалки – на 4,7%, на борони – на 1,8%, на культиватори – на 1,2%, на плуги – на 0,1%. В той же час середні ціни на зернозбиральні комбайни в 2019-му році порівняно з 2018-м роком навпаки, скоротилися на 4,5%.

Безумовно, для раціонального забезпечення сільгоспвиробників технікою необхідні значні інвестиції [15], для обґрунтування

доцільності яких необхідно брати до уваги еколого-економічні критерії – тобто, орієнтуватися на сталий розвиток.

Таблиця 3

Середні ціни купівлі аграрними підприємствами нової сільськогосподарської техніки, тис. грн. за 1 шт.

Показник	2015	2016	2017	2018	2019	2019 р. до	
						2015, разів	2018, приріст (скорочення), %
Трактори	1254,1	1497,1	2013,2	2007,7	2158,4	1,7	7,5
Плуги	259,4	317	417,3	478,5	479,1	1,8	0,1
Культиватори	311	401,3	460,5	515,6	521,9	1,7	1,2
Борони	286,7	337,2	429,6	388,8	395,8	1,4	1,8
Сівалки	744,1	1035,6	1312,9	1621,9	1698,9	2,3	4,7
Комбайни зернозбиральні	3285,5	3972,8	4444,1	5074,1	4845,4	1,5	-4,5

Джерело: складено авторами за даними Державної служби статистики України.

Теоретична сутність поняття «сталий розвиток» розкривається багатьма науковцями. Є дослідники, які розглядають теоретичну сутність поняття «сталий розвиток» стосовно аграрної сфери, враховуючи особливості сільськогосподарського виробництва та розвитку сільських територій. Так, І. О. Термоса вважає, що «… під сталим розвитком сільських територій необхідно розуміти такий розвиток села, за якого забезпечуються зростання сільської економіки, стабілізація чисельності населення і збільшення тривалості життя, повна і продуктивна зайнятість працездатного населення, підвищення рівня і якості життя на сільських територіях, ощадливе використання та відтворення їх природно-ресурсного потенціалу» [1, с. 34]. В. В. Гарбар наполягає, що «під сталим розвитком фермерських господарств слід розглядати розвиток, за якого в господарстві відбуваються процеси відтворення виробництва і збуту продукції, ресурсів, капіталу та економічних відносин, що у тривалому періоді забезпечують конкурентоспроможність продукції, його активну операційну, інвестиційну й інші види діяльності та окупність витрат» [2, с. 140]. О. Л. Попова наголошує, що «сталий розвиток агросфери можна визначити як системні, орієнтовані на інтереси і потенціал людини, соціуму і суспільства, загалом адаптивні за природою і якісні за суттю цілеспрямовані зміни, що супроводжуються підвищенням її ефективності, соціально-економічної прогресивності, стійкості та соціальної значимості як щодо попередніх інваріантних станів, так і щодо досягнення раціональних моделей сталості на різних етапах

еволюційного розвитку» [3]. Л. В. Забуранна стверджує: «…сталий розвиток агросфери визначається множиною різних факторів (детермінант), основними серед яких є: збільшення людського капіталу і соціальних активів; поширення адаптивно-ландшафтної системи ведення сільського господарства; впровадження агроекологічних методів господарювання з метою продукування якісної, екологобезпечної сільськогосподарської продукції; збереження природної і культурної спадщини» [4, с. 24].

Узагальнюючі різноманітність трактувань сутності поняття «сталий розвиток аграрного виробництва», можна зробити висновок, що воно передбачає узгодженість екологічних, соціальних та економічних інтересів суспільства стосовно відповідної сфери діяльності. Вважаємо, що на критерії сталого розвитку необхідно спрямовувати увагу не тільки при вирішенні загальних проблем аграрної сфери, але й більш вузьких питань, в тому числі технічного забезпечення виробників сільськогосподарської продукції.

В ході дослідження була поставлена задача виявити можливий зв'язок між наявністю техніки та її негативним впливом на навколишнє середовище в цілому в Україні. Для цього була проаналізована динаміка обсягів капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар, а також у транспортні засоби в цілому в Україні, які в 2020-му році порівняно з 2010-м роком зросли в 3,3 рази і становили 211,7 млрд. грн. Було розглянуто, як це відбилося на обсягах викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами (рис. 1).

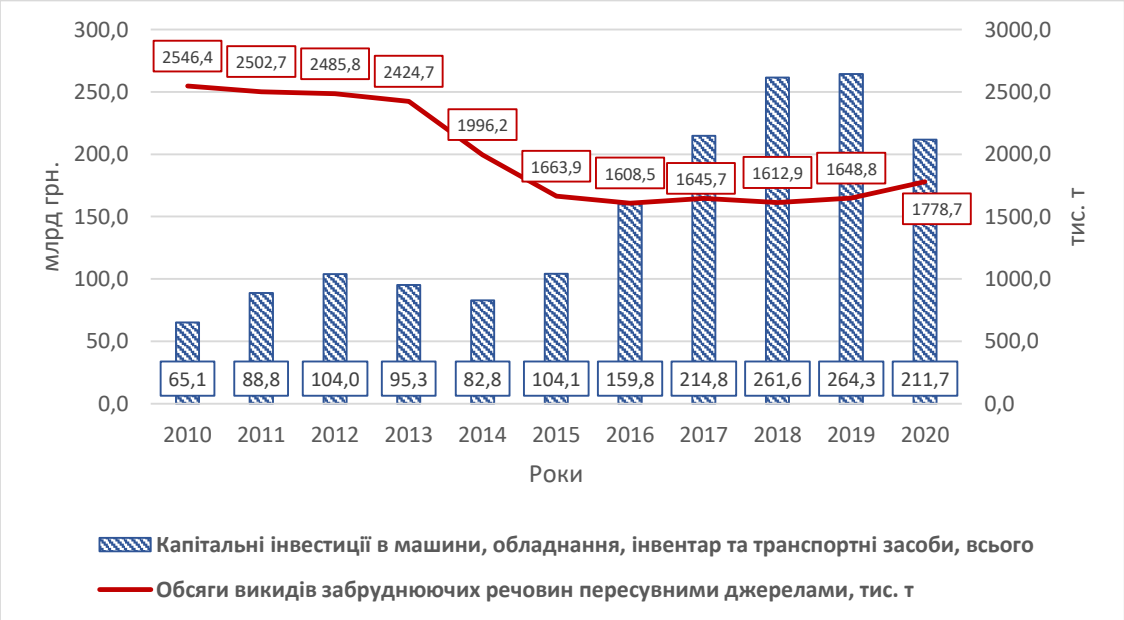


Рисунок 1. Динаміка загальних обсягів капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар та транспортні засоби (млрд. грн.) та викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами (тис. т).

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України.

Залежність обсягів викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами, тис. т (у), від обсягів капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар, а також у транспортні засоби, млрд. грн. (х), має наступний вигляд:

$$y = -4{,}0988x + 2607{,}9;\ D = 0{,}5629;\ R = 0{,}7503.$$

Тобто, збільшення капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар, а також у транспортні засоби в цілому в Україні на 1 млрд. грн. супроводжувалось зменшенням обсягів викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами на 4,1 тис. т за рік.

Але, якщо обсяги капітальних інвестицій розглядати в доларовому еквіваленті (рис. 2), залежність має наступний вигляд:

$$y = 76{,}121x + 1332{,}6;\ D = 0{,}2835;\ R = 0{,}5325.$$

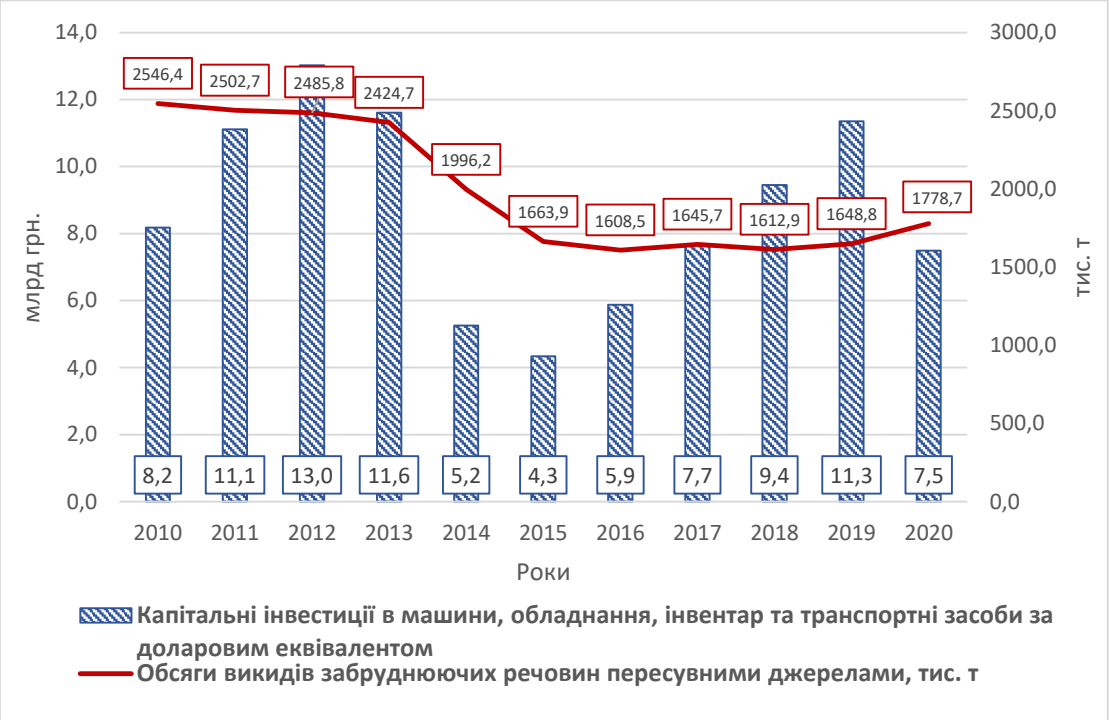


Рисунок 2. Динаміка загальних обсягів капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар та транспортні засоби в доларовому еквіваленті (млрд. дол. США) та викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами (тис. т).

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України.

Тобто, збільшення капітальних інвестицій у машини, обладнання, інвентар, а також у транспортні засоби в цілому в Україні на 1 млрд.

дол. США навпаки, супроводжувалось зростанням обсягів викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами на 76,21 тис. т.

Вважаємо, що в дослідженні зв'язку обсягів капітальних інвестицій та викидів забруднюючих речовин окремої уваги заслуговує технічне забезпечення сільськогосподарських товаровиробників.

Нами розглянуто динаміку капітальних інвестицій в машини і обладнання сільського, лісового та рибного господарства в гривневому та доларовому еквівалентах, а також утворення відходів у відповідній сфері діяльності (рис. 3, 4).

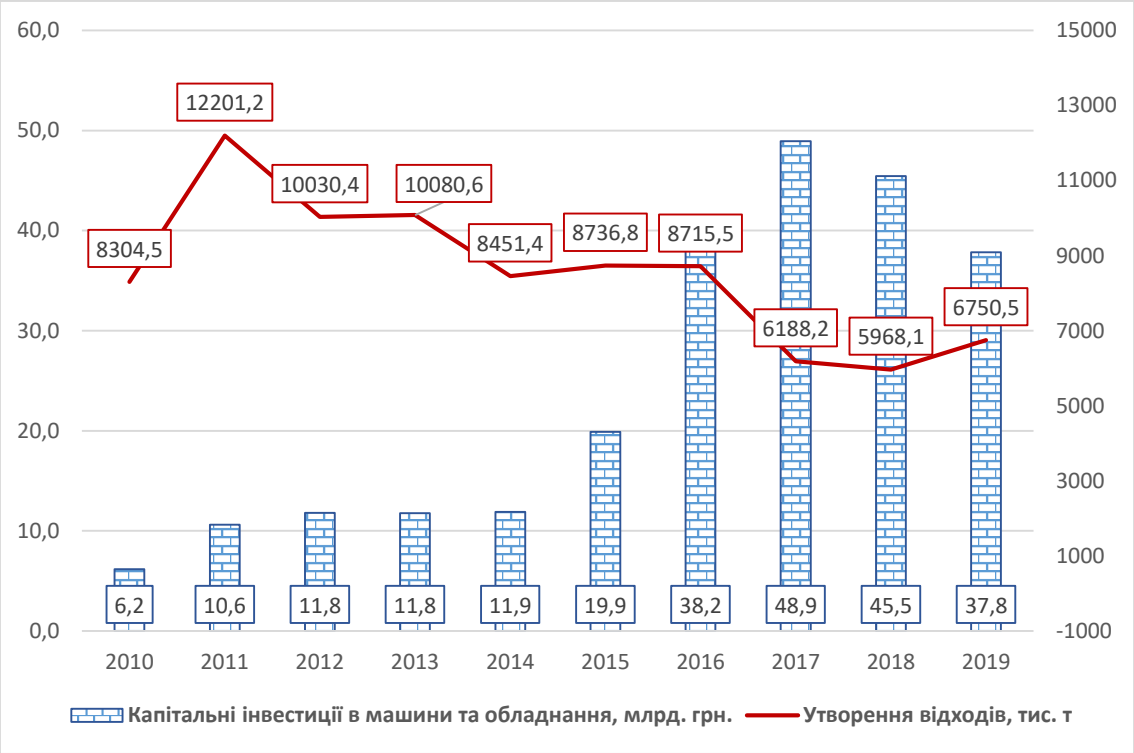


Рисунок 3. Динаміка капітальних інвестицій в машини і обладнання сільського, лісового та рибного господарства (млрд. грн.) та утворення відходів (тис. т).

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України.

Капітальні інвестиції в машини і обладнання сільського, лісового та рибного господарства в 2019-му році порівняно з 2010-м роком збільшились в 6 разів і становили 37,8 млрд. грн. В доларовому еквіваленті відповідні капітальні інвестиції зросли в два рази і становили 1624,5 млн. дол. США. Разом з тим утворення відходів в 2019-му році порівняно з 2010-м роком навпаки, скоротилося на 1554 тис. т. Незважаючи на те, що не можна напряму пов'язувати утворення відходів в галузі з наявністю машин та обладнання, є передумова зробити висновки про позитивну екологічну спрямованість техніки і технології в аграрному виробництві.

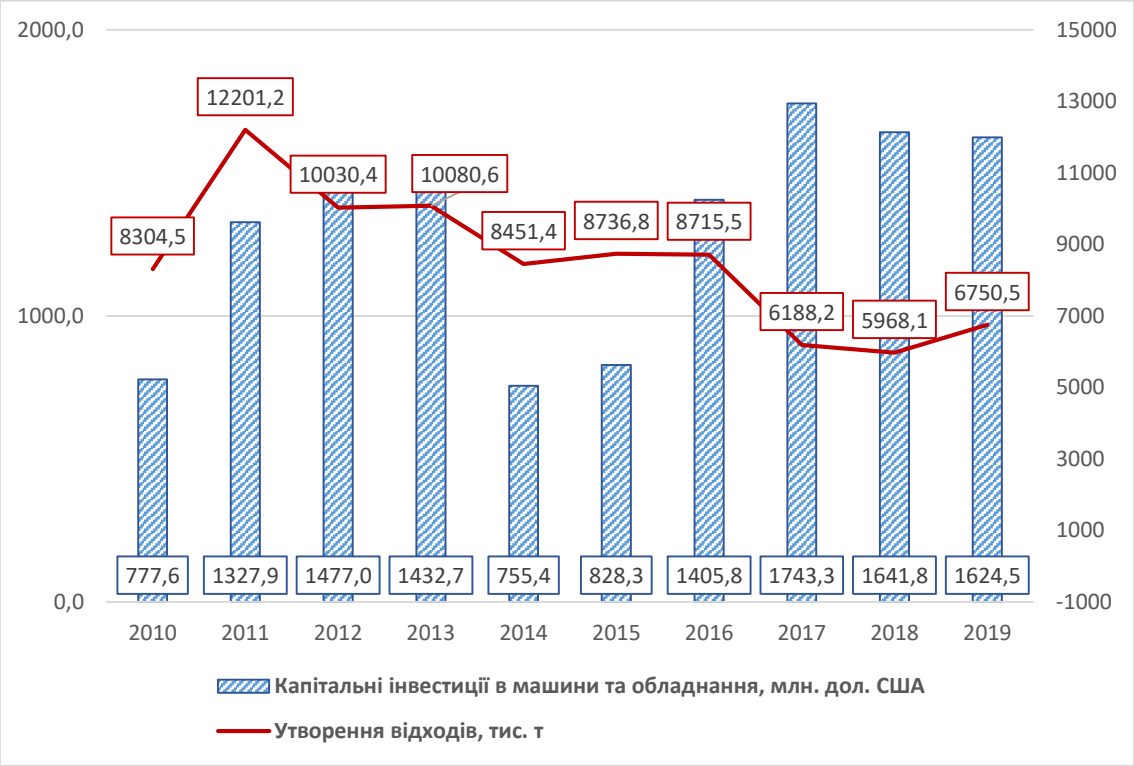


Рисунок 4. Динаміка капітальних інвестицій в машини і обладнання сільського, лісового та рибного господарства (млн. дол. США) та утворення відходів (тис. т).

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України.

Безумовно, еколого-економічні проблеми технічного забезпечення аграрного виробництва носять системний комплексний характер. Нами розглянуті можливі ризики негативного впливу на навколишнє середовище, які можуть проявлятися на різних етапах використання сільськогосподарської техніки (табл. 4).

Вважаємо, що комплексні проблеми потребують адекватних рішень. Так, для зниження негативного впливу сільськогосподарської техніки на навколишнє середовище під час експлуатації доцільно впроваджувати нові, прогресивні технології – наприклад, точного землеробства.

Підготовка до зберігання та антикорозійний захист сільськогосподарських машин в період міжсезонного невикористання потребує вдосконалення якості захисних консерваційних матеріалів, які неминуче потрапляють в навколишнє середовище, а також безпосередньо технологічних процесів технічного сервісу.

Скороченню забруднення навколишнього середовища під час утилізації та переробки відпрацьованої сільськогосподарської техніки сприятиме розбудова системи рециклінгу, що вимагає застосування оригінальних підходів і врахування національних особливостей

законодавства, стану промисловості, а також інформаційно-комунікаційного забезпечення життєвого циклу ресурсо- та наукомісткої продукції.

Таблиця 4

Ризики негативного впливу використання сільськогосподарської техніки на навколишнє середовище

Етапи використання техніки	Негативний вплив на навколишнє середовище
Експлуатація	- ущільнення ґрунту за рахунок статичних і динамічних навантажень; - руйнування ґрунту при проведенні технологічних операцій вирощування сільськогосподарських культур, що порушує структуру ґрунту, сприяє водної ерозії і забруднення поверхневих вод; - зниження біологічного різноманіття ґрунтів через глибоку обробку ґрунту з оборотом пласта; - забруднення ґрунтів, вод ПММ за рахунок витоку з рушіїв, при транспортуванні і заправки машин на місцях їх роботи; - споживання кисню і забруднення повітря вихлопними газами, що містять вуглекислий і чадний гази, свинець та ін.; - мінералізація органічної речовини і емісія вуглекислого газу, який виділяється в атмосферу, сприяючи створенню парникового ефекту, через інтенсивну обробку ґрунту; - травмування та знищення диких тварин і птахів під час проведення сільськогосподарських робіт і ін.
Збереження	- на всіх етапах протикорозійного захисту, від підготовки консерваційних матеріалів і нанесення їх на поверхню, що захищається, до зберігання і розконсервації під час проведення сільськогосподарських робіт, відбувається викид в навколишнє середовище компонентів консерваційних матеріалів
Утилізація і переробка	- забруднення навколишнього середовища під час збору, транспортування, демонтажу, зливу експлуатаційних рідин, вилучення та зберігання корисних компонентів з відходів тощо

Джерело: складено авторами на основі власних досліджень.

Висновки. Таким чином, на основі проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що на теперішній час технічний сервіс, технічне забезпечення аграрного виробництва має суттєві недоліки, які проявляються як в кількості, так і в якості наявної техніки. Усунення цих недоліків потребує значних інвестицій. Крім того, необхідно відмітити, що застосування сільськогосподарської техніки тягне за собою негативні наслідки, які впливають на навколишнє середовище.

На сьогоднішній момент питання зниження токсичних викидів в навколишнє середовище і поліпшення екологічної безпеки гостро ставиться перед аграрним сектором національної економіки. Для

подолання існуючих проблем пропонуємо більш широко впроваджувати систему точного землеробства, покращувати технології зберігання та антикорозійного захисту сільськогосподарських машин, а також розбудовувати систему рециклінгу.

Перспективами подальших досліджень є розробка організаційно-економічного механізму рециклінгу виведеної з експлуатації техніки, що відповідає сучасним вимогам ресурсозбереження та екології.

Список використаних джерел

1. Термоса І. О. Сутність сталого розвитку та його особливості в контексті сільських територій. *Причорноморські економічні студії.* 2017. Вип. 19. С. 33-37.

2. Гарбар В. В. Економічна сутність поняття сталого розвитку фермерського господарства. *Економіка АПК*. 2014. № 1. С. 136-141.

3. Попова О. Л. Сталий розвиток агросфери України: політика і механізми: монографія. Київ: НАНУ, 2009. 352 с.

4. Забуранна Л. В. Сталий розвиток аграрної сфери: сутність та чинники. *Економіка і управління*. 2012. № 2. С. 18-24.

5. Jaleta M., Baudron F., Krivokapic-Skoko B., Erenstein O. Agricultural mechanization and reduced tillage: antagonism or synergy? *International Journal of Agricultural Sustainability*. 2019. Vol. 17, № 3. P. 219-230. DOI: 10.1080/14735903.2019.1613742.

6. Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M. Effect of local conditions and machinery characteristics on the environmental impacts of primary soil tillage. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. P. 479-491. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2016.02.011.

7. Banerjee S., Punekar R. M. A sustainability-oriented design approach for agricultural machinery and its associated service ecosystem development. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 264. N 121642. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2020.121642.

8. Pryor S. W., Smithers J., Lyne P., van Antwerpen R. Impact of agricultural practices on energy use and greenhouse gas emissions for South African sugarcane production. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 1. P. 137-145. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.069.

9. Banaeian N., Pourhejazy P. Integrating Sustainability into the Machinery Selection Decisions in the Agriculture Sector. *IEEE Engineering Management Review*. 2020. Vol. 48, № 4. N 9138698, P. 167-173. DOI: 10.1109 / EMR.2020.3008560.

10. Alimagham S. M., Soltani A., Zeinali E., Kazemi H. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 149. P. 621-628. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2017.02.118.

11. A high temporal-spatial resolution air pollutant emission inventory for agricultural machinery in China / J. Lang et al. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 183. P. 1110-1121. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2018.02.120.

12. Does the popularization of agricultural mechanization improve energy-environment performance in China's agricultural sector? / M. Jiang et al. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 276. N 124210. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2020.124210.

13. Грицаєнко Г. І., Грицаєнко І. М. Системний аналіз інвестицій в енергоефективність національної економіки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-9.

14. Грицаєнко Г. І., Грицаєнко М. І. Екологічні інвестиції як пріоритетний напрямок розвитку аграрної сфери економіки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-12.

15. Hrytsaienko H., Hrytsaienko I., Bondar A., Zhuravel D. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production.* 2019. P. 29-40. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_4.

Стаття надійшла до редакції 5.10.2021 р.

I. Hrytsaienko, H. Hrytsaienko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

TECHNICAL SUPPORT OF AGRICULTURAL PRODUCTION: ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECT

Summary

At present, a comprehensive study of the formation of the latest system of logistics, the introduction of innovative types of equipment, the development of organizational and economic mechanism of innovation-oriented development of agricultural production, taking into account the environmental and economic aspects.

The purpose of the article is to investigate the provision of machinery to agricultural producers, taking into account environmental and economic criteria.

The study uses dialectical methods of cognition, including monographic (analysis of scientific publications on the technical support of agricultural production, its sustainable development, the impact of technology on the environment) and abstract-logical (theoretical generalizations and formulation of conclusions) methods.

One of the essential factors of agricultural production is agricultural machinery. The dynamics of availability, purchase and prices of agricultural machinery, as well as the relationship of capital investment in machinery, equipment, inventory and vehicles with emissions of pollutants from mobile sources in Ukraine as a whole were studied. In addition, the dynamics of capital investment in machinery and equipment of agriculture,

forestry and fisheries in hryvnia and dollar equivalents, as well as waste generation in the relevant field of activity were considered.

Based on the generalization of the diversity of interpretations of the essence of the concept of "sustainable development of agricultural production", it is concluded that it implies the coherence of environmental, social and economic interests of society in relation to the relevant field of activity.

Possible risks of negative impact on the environment, which may occur at different stages of use of agricultural machinery - operation, storage, disposal and processing. To overcome the existing problems, it is proposed to introduce a system of precision farming, improve storage technologies and corrosion protection of agricultural machinery, as well as the development of a recycling system.

Key words: technical support, agricultural production, sustainable development, capital investments, pollutant emissions, waste generation, ecological and economic criteria

И. Н. Грицаенко, Г. И. Грицаенко
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА: ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Аннотация

Цель статьи – исследовать обеспечение техникой сельскохозяйственных товаропроизводителей с учетом эколого-экономических критериев.

В исследовании использованы диалектические методы познания, в том числе монографический (анализ научных публикаций по техническому обеспечению аграрного производства, его устойчивого развития, влияния техники на окружающую среду) и абстрактно-логический (теоретические обобщения и формулирования выводов) методы.

Исследовано наличие и покупка сельскохозяйственной техники, а также взаимосвязь капитальных инвестиций в машины, оборудование, инвентарь и транспортные средства с объемами выбросов загрязняющих веществ передвижными источниками. Определены возможные риски негативного воздействия на окружающую среду, которые могут проявляться на разных этапах использования сельскохозяйственной техники, предложены пути их преодоления.

Ключевые слова: техническое обеспечение, аграрное производство, устойчивое развитие, капитальные инвестиции, выбросы загрязняющих веществ, образование отходов, эколого-экономические критерии.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-13

УДК 338.2

О. Г. Скляр, к.т.н. ORCID: 0000-0002-0456-2479
Р. В. Скляр, к.т.н. ORCID: 0000-0002-1547-5100
С. М. Григоренко, асистент ORCID: 0000-0003-3818-2404
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ РІЧНОГО ОБОРОТУ СТАДА ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

Анотація. В статті запропоновано методику моделювання та розрахунок оптимального обороту стада великої рогатої худоби (ВРХ) з урахуванням відповідних зоотехнічних та господарських вимог по: складу стада, вибракуванню худоби, переводу статево-вікових груп із молодших в старші, співвідношенню окремих груп в стаді, наявності худоби на початок року, кількості приплоду, поголів'я худоби, яке необхідно мати на кінець року. Це забезпечить подальше відтворення стада і зростання виробництва тваринницької продукції. Виконання обчислень здійснюється у середовищі електронних таблиць MS Excel. Доведено, що для прогнозування виходу продукції великої рогатої худоби доцільно використовувати оптимізаційну економіко-математичну модель обороту стада. Розроблена та реалізована на тваринницькому підприємстві методика дозволить збільшити виробництво і реалізацію продукції тваринництва.

Ключові слова: моделювання, оборот, стадо, велика рогата худоба, критерій оптимальності, молоко, м'ясо.

Постановка проблеми. Підвищення рівня виробництва продукції тваринництва значною мірою залежить від росту поголів'я тварин та їх продуктивності [1]. Важливу роль при цьому відіграє економічне обґрунтування структури стада, яка знаходиться у прямій залежності від спеціалізації галузі, породного складу стада, системи його відтворення, відтворних якостей маточного поголів'я та тривалості вирощування молодняку, періоду використання корів, умов годівлі, утримання тощо [2].

Від того, яка структура стада, безпосередньо залежать темпи розширеного відтворення на фермах і оборот стада, об'єм виробленої

© О. Г. Скляр, Р. В. Скляр, С. М. Григоренко

продукції, що реалізується, собівартість продукції, величина прибутку і рівень рентабельності господарства.

Аналіз останніх досліджень. Питанням економіко-математичного моделювання в управлінні виробничо-економічною діяльністю присвячені роботи С.М. Волкова, В.Д. Кірюхіна, О.О. Варламова, О.В. Купчиненко, Л.С. Твердовської, Р.О. Трибрата [2,3], які описували системи макроекономічних моделей планування та аналізу розвитку агропромислового комплексу. Автори намагалися моделювати окремі елементи виробничо-економічної діяльності, нехтуючи принципом комплексності. Але, сучасні підходи до моделювання у сільському господарстві мають бути спрямовані на розвиток таких принципів управління, як системність та комплексність, багатоваріативність розрахунків за допомогою запровадження системи економіко-математичних моделей.

Також, важливу роль відіграють завдання оптимізації [4-6]: повновікової структури стада; раціонів годівлі худоби; структури кормовиробництва, забезпечення худоби кормами власного виробництва в умовах обмежених земельних ресурсів. Вирішення цих завдань допоможе уникнути погіршення показників відтворення стада, продуктивності тварин і досягти максимум економічного ефекту.

Формулювання мети статті. Розробка економіко-математичної моделі та розрахунок річного обороту стада великої рогатої худоби з урахуванням відповідних зоотехнічних та господарських вимог.

Основна частина. Залежно від спеціалізації господарства (виробництво молока, м’яса чи вирощування племінного молодняку) структура стада визначає кормову базу, кількість тваринницьких приміщень, чисельність робітників. Відповідно з цього у скотарстві поголів’я корів займатиме різний відсоток у структурі стада.

Традиційно структура стада в господарствах повинна була забезпечувати виконання плану виробництва продукції та заплановане поголів’я тварин. Нині ж у господарствах намагаються організовувати виробництво економічно вигідної продукції, орієнтуючись на вузьку спеціалізацію тваринництва [3,7].

Основними статево - віковими групами тварин в стаді великої рогатої худоби є [8]: корови, нетелі, телиці старші року, телиці до року, телиці - приплід, бички старші року, бички до року, бички - приплід, худоба на відгодівлі.

Так, під оборотом стада розуміють кількісні зміни у складі вікових і статевих груп тварин за певний період (місяць, квартал, рік). На основі обороту стада планують об’єм виробництва і реалізацію продукції тваринництва, кормову базу, потребу в приміщеннях для тварин, в робочій силі, засобах механізації та інших виробничих ресурсах.

Оборот стада розраховують за нормативами, які залежать від ряду факторів. Головні з них наступні: виробничі темпи розширеного відтворення поголів'я і якісне покращення стада; виробниче направлення тваринництва; біологічні особливості окремих видів тварин; умови утримання і годівлі тварин; санітарний стан стада.

Розглянемо моделювання обороту стада на прикладі стада великої рогатої худоби, яке складається з наступних статево-вікових груп: корови, нетелі, телиці старше року, телиці до року, телиці-приплід, бички старше року, бички до року, бички-приплід.

Постановка задачі може бути сформульована наступним чином: виходячи з наявності худоби на початок року, кількості приплоду, а також необхідності мати на кінець року певне поголів'я худоби, яке забезпечить подальше відтворення стада і ріст виробництва тваринницької продукції, визначити скільки голів необхідно вибракувати і поставити на відгодівлю і скільки перевести в наступну групу, отримавши при цьому максимальний ефект від тваринництва. Ефект виражається у вигляді критерію оптимальності [9,10] і являє собою, як правило, максимум отримання продукції (молока, м'яса).

Невідомими в задачі є чотири групи величин:

1) кількість (або відсоток) вибракуваних тварин по кожній статево-віковій групі;

2) кількість тварин переведених в старшу групу;

3) кількість тварин переведених з молодшої групи;

4) кількість тварин залишених на кінець року.

Кожна група невідомих включає стільки величин, скільки статево-вікових груп тварин, за виключенням величин, які для даної статево-вікової групи неприйнятні через об'єктивні причини (наприклад, корови в старшу групу не можуть бути переведені, так само, як приплід не може бути переведений з молодшої групи).

Розробку числової моделі починають з визначення невідомих величин і параметрів (відомих величин) задачі. Частина інформації відома і формується до розв'язання задачі (наприклад, наявність поголів'я по кожній статево-віковій групі на початок року). Кількість приплоду розраховують виходячи з поголів'я корів і нетелей з врахуванням коефіцієнту виходу телят від 100 корів і нетелей. Вважають, що з вірогідністю ½ народжуються бички і телички, відповідно, їх кількість планують приблизно однакову.

Падіж планують на основі даних не менш ніж 5 років лише для тих статево-вікових груп, які найбільше піддані впливу несприятливих факторів (молодняк до року, приплід). По таким статево-віковим групам, як корови, нетелі, молодняк старше року цей показник приймається рівним нулю.

Загальний вид математичної моделі:

j – індекс статевовікової групи худоби;

N – множина, що включає номери статевовікових груп худоби;

i – індекс видів виробленої продукції;

M – множина, що включає номери видів виробленої продукції;

M' – підмножина, що включає виробництво молока;

y_j – змінна, що позначає поголів'я худоби j -ї статевовікової групи на кінець року;

z_j – змінна, що позначає поголів'я худоби j -ї статевовікової групи, які підлягають вибірці;

$x_{jj'}$ – змінна, що позначає поголів'я худоби j -ї статевовікової групи, яке прибуло з j'-ї молодшої статевовікової групи;

$x_{j''j}$ – змінна, що позначає поголів'я худоби j -ї статевовікової групи, переведене у j'' - ту старшу статевовікову групу;

B_j – поголів'я худоби j -ї статевовікової групи на початок року;

D_j – падіж поголів'я худоби j -ї статевовікової групи протягом року;

K_j^{min}, K_j^{max} – допустимі межі вибраковки поголів'я худоби j -ї статевовікової групи;

P – загальне поголів'я худоби на кінець року;

R_j^{min}, R_j^{max} – допустимі межі поголів'я худоби j -ї статевовікової групи на кінець року;

$w_{j'j}$ – коефіцієнт співвідношення між j'-ю та j -ю статевовіковими групами худоби;

a_{ij} – вихід продукції i-го виду від худоби j -ї статевовікової групи;

Q_i – річний план виробництва продукції і-го виду.

Мета задачі – знайти такий оборот і структуру стада (значення змінних $y_j, z_j, x_{j'j}, x_{jj'}$, при яких досягається максимум виробництва молока [11]

$$Z = 0{,}5a_{ij}B_j + 0{,}5a_{ij}y_j \rightarrow max$$

де $i \in M'$

при виконанні наступних груп обмежень:

1) за дотриманням балансу руху худоби кожної статевовікової групи протягом року: $B_j + x_{jj'} - x_{j''j} - D_j - z_j = y_j, \quad (j \in N)$

2) за переводом худоби з молодших статевовікових груп до старших: $x_{j''j} = B_j - D_j - z_j, \quad (j = N)$

3) за вибраковкою худоби по статевовіковим групам: $K_j^{min} \leq z_j \leq K_j^{max}, \ (j = N)$;

4) за співвідношенням між статевовіковими групами на кінець року: $y_j = \gtreqless w_{j'j}\, y_{j'}, \quad (j = N)$;

5) за зміною всього поголів'я худоби і окремих статевовікових груп на кінець року: $\sum y_j \underline{\geq} P_j, \quad R_j^{min} \leq y_j \leq R_j^{max}, (j = N)$;

6) за виконанням річного плану виробництва продукції:

- по молоку: $0{,}5a_{ij}B_j + 0{,}5a_{ij}y_j \geq Q_i$,
- по м'ясу: $\sum_{j=N} a_{ij}\, z_j \geq Q_i, \quad (i = M)$;

Для складання розгорнутої економіко-математичної моделі необхідно підготувати вихідні дані (таблиця 1).

Таблиця 1

Заплановане вибракування та падіж ВРХ

Статевовікові групи	Індекс групи, j	Поголів'я на початок року B_j	Вибракування				Падіж, D_j	
			мінімум K_j^{min}		максимум K_j^{max}		відс.	гол.
			відс.	гол.	відс	гол.		
Корови	1	B_1	L_1^{min}	K_j^{min}	L_1^{max}	K_1^{max}	-	-
Нетелі	2	B_2	-	-	-	-	-	-
Телиці старше року	3	B_3	-	-	-	-	-	-
Бички старше року	4	B_4	-	-	-	-	-	-
Телиці до року	5	B_5	L_5^{min}	K_5^{min}	L_5^{max}	K_5^{max}	S_5	D_5
Бички до року	6	B_6	L_6^{min}	K_6^{min}	L_6^{max}	K_6^{max}	S_6	D_6
Телички-приплід	7	-	L_7^{min}	K_7^{min}	L_7^{max}	K_7^{max}	S_7	D_7
Бички-приплід	8	-	L_8^{min}	K_8^{min}	L_8^{max}	K_8^{max}	S_8	D_8

На основі встановлених норм вибраковки і падежу худоби розраховується, відповідно, гранично допустиме поголів'я для вибраковки і падежу по формулам:

$$K_j^{min} = \frac{B_j L_j^{min}}{100}\ , K_j^{max} = \frac{B_j L_j^{max}}{100}$$

де L_j^{min}, L_j^{max} - допустимі мінімальний і максимальний відсотки вибраковки j -ї статевовікової групи худоби;

$$D_j = \frac{B_j S_j}{100},$$

де S_j – відсоток падежу j -ї статевовікової групи худоби;

Потім задається перелік змінних величин задачі (таблиця 2) і складається розгорнута економіко-математична модель, яка записується в матричному вигляді.

Таблиця 2

Система змінних для економіко-математичної моделі

Статевовікові групи	Наявність на початок року, B_j	Прихід		Розхід			Наявність на кінець року
		приплід	надходження з молодших груп	перехід до старших груп	падіж	вибракування, реалізація	
Корови	B_1	-	$x_{1,2}$	-	-	z_1	y_1
Нетелі	B_2	-	$x_{2,3}$	$x_{1,2}$	-	-	y_2
Телиці старше року	B_3	-	$x_{3,5}$	$x_{2,3}$	-	z_3	y_3
Бички старше року	B_4	-	$x_{4,6}$	-	-	z_4	y_4
Телиці до року	B_5	-	$x_{5,7}$	$x_{3,5}$	D_5	z_5	y_5
Бички до року	B_6	-	$x_{6,8}$	$x_{4,6}$	D_6	z_6	y_6
Телички-приплід	-	$П_7$	-	$x_{5,7}$	D_7	z_7	-
Бички-приплід	-	$П_8$	-	$x_{6,8}$	D_8	z_8	-

Система обмежень:

І. По дотриманню балансу худоби в статевовікових групах, голови

1. Для корів $B_1 + x_{1,2} - z_1 = y_1$, або $- x_{1,2} + z_1 + y_1 = B_1$

2. Для нетелів $B_2 + x_{2,3} - x_{1,2} = y_2$, або $x_{1,2} - x_{2,3} + y_2 = B_2$

3. Для телиць старше 1 року $B_3 + x_{3,5} - x_{2,3} - z_3 = y_3$, або $x_{2,3} - x_{3,5} + z_3 + y_3 = B_3$

4. Для бичків старше 1 року B_4+ $x_{4,6}$ - z_4 = y_4, або - $x_{4,6}$ + z_4 + y_4 =B_4

5. Для телиць до 1 року B_5 + $x_{5,7}$ - $x_{3,5}$ – D_5 - z_5 = y_5, або $x_{3,5}$ - $x_{5,7}$ + z_5 + y_5 = B_5– D_5

6. Для бичків до 1 року B_6 + $x_{6,8}$ - $x_{4,6}$ - D_6 - z_6 = y_6, або $x_{4,6}$ - $x_{6,8}$ + z_6 + y_6 = B_6– D_6

II. По переводу худоби з молодших статевовікових груп в старші, голови

7. Нетелів до групи корів $x_{1,2}$ =B_2

8. Телиць старше року до групи нетелів $x_{2,3}$ = B_3 - z_3, або $x_{2,3}$ +z_3= B_3

9. Телиць до року до групи телиць старше року $x_{3,5}$ = B_5 - D_5 - z_5, або $x_{3,5}$+ z_5 = B_5 - D_5

10. Бичків до року до групи бичків старше року $x_{4,6}$ = B_6 - D_6 - z_6, або $x_{4,6}$+ z_6 = B_6 - D_6

11. Приплід телиць до групи телиць до року $x_{5,7}$ = $П_7$ - D_7 - z_7, або $x_{5,7}$+ z_7 = $П_7$ - D_7

12. Приплід бичків до групи бичків до року $x_{6,8}$ = $П_8$ - D_8 - z_8, або $x_{6,8}$+ z_8 = $П_8$ - D_8

III. По вибракуванню худоби, голови

13. Поголів'я корів, не менше $z_1 \geq K_1^{min}$

14. Поголів'я корів, не більше $z_1 \leq K_1^{max}$

15. Поголів'я телиць до року, не менше $z_5 \geq K_5^{min}$

16. Поголів'я телиць до року, не більше $z_5 \leq K_5^{max}$

17. Поголів'я бичків до року, не менше $z_6 \geq K_6^{min}$

18. Поголів'я бичків до року, не більше $z_6 \leq K_6^{max}$

19. Приплід телиць, не менше $z_7 \geq K_7^{min}$

20. Приплід телиць, не більше $z_7 \leq K_7^{max}$

21. Приплід бичків, не менше $z_8 \geq K_8^{min}$

22. Приплід бичків, не більше $z_8 \leq K_8^{max}$

IV. По співвідношенню між статевовіковими групами худоби на кінець року, голови

23. Поголів'я нетелів по відношенню до корів, не менше $y_2 \geq w_{2\prime 1}$ y_1, або $w_{2\prime 1}$ y_1 - $y_2 \leq 0$

24. Поголів'я нетелів по відношенню до корів, не більше $y_2 \leq w_{2\prime\prime 1}$ y_1, або $w_{2\prime\prime 1}$ y_1 - $y_2 \geq 0$

25. Поголів'я телиць старше року по відношенню до нетелів, не менше $y_3 \geq w_{3\prime 2}$ y_2, або $w_{3\prime 2}$ y_2 - $y_3 \leq 0$

26. Поголів'я телиць до року по відношенню до телиць старше року, не менше $y_5 \geq w_{5\prime 3}$ y_3, або $w_{5\prime 3}y_3$ - $y_5 \leq 0$

V. По зміні поголів'я на кінець року, голови

27. Загальне поголів'я худоби $y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 + y_6 = P$

28. Поголів'я корів, не менше $R_1^{min} \le y_1 \le R_1^{max}$

VI. По виконанню плану виробництва, ц

29. Молока, ц

$$0{,}5a_{\text{мол}1}B_1 + 0{,}5a_{\text{мол}1}y_1 \ge Q_{\text{мол}}$$

30. М'яса, ц

$$\sum_{j=N} a_{\text{м}j}\, z_j \ge Q_{\text{м}}$$

$$a_{\text{м}1}z_1 + a_{\text{м}3}z_3 + a_{\text{м}4}z_4 + a_{\text{м}5}z_5 + a_{\text{м}6}z_6 + a_{\text{м}7}z_7 + a_{\text{м}8}z_8 \ge Q_{\text{м}}$$

Цільова функція: максимум виробництва молока, ц

$$F = 0{,}5a_{\text{мол}1}B_1 + 0{,}5a_{\text{мол}1}y_1 \to max$$

У розрахунках значення цільової функції показано в натуральному виразі, і це цілком виправдано, оскільки ціни на продукцію тваринництва часто змінюються [12].

Для конкретного тваринницького підприємства з визначеними вихідними даними складається матриця економіко-математичної моделі [11,12]. Розв'язок задачі будемо шукати в електронних таблицях MS Excel, надбудова «Поиск решений». На робочому листі електронної таблиці записуємо змінні задачі та систему обмежень. У вигляді таблиці записуємо обмеження та в окремій комірці визначаємо обсяг обмеження. Далі викликаємо надбудову «Поиск решений». В ній вказуємо діапазони вхідних даних. В параметрах показуємо, що задача є лінійною, а змінні мають приймати лише невід'ємні значення. Визначаємось з кількістю ітерацій та точністю розрахунків. При отриманих значеннях змінних буде дотримано критерій оптимальності - максимальне виробництво молока.

Висновки. Запропонована методика дозволить для будь-якого тваринницького підприємства ВРХ скласти та розв’язати економіко-математичну модель. В результаті буде отриманий оптимальний план річного обороту стада ВРХ при максимальному виробництві молока.

Список використаних джерел

1. Скляр Р.В. Доцільність використання економіко-математичних моделей в сільському господарстві. *Інноваційні технології в АПК:* матер. VII Всеукраїнської науково-практичної конференції. Луцьк: Луцький НТУ. 2021.С. 122-124.

2. Кігель В. Р. Математичні методи ринкової економіки. К: Кондор, 2003. 212 с.

3. Трибрат Р.О. Моделювання технологічних процесів у тваринництві: метод. рекомендації до самостійного вивчення дисципліни. Миколаїв: МНАУ, 2016. 47 с.

4. Болтянська Н.І., Комар А.С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.

5. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Bilbao, Spain 2020. Pp. 431- 433.

6. Milko D.O., Pedchenko G.P., Zhuravel D.P., Bratishko V.V. Results of the nutritional preservation research of the alfalfa laying on storage with two-phase compaction. *INMATEH - Сельскохозяйственное машиностроение*. 2020. Vol. 60. No. 1. Pp. 269-274. DOI: https://doi.org/10.35633/inmateh-60-30.2.

7. Boltianska N. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education.* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. Pp. 171-176.

8. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник/ Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

9. Boltianska N. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning:* Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux, France 2020. Pp. 478-480.

10. Podashevskaya H. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Сб. научн. ст. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

11. Скляр Р.В. Основні принципи побудови та аналіз математичних моделей технологічних процесів. *Молодь і технічний прогрес в АПК*: Матер. Міжнар наук.-практ. конф. Харків: ХНТУСГ. 2021. С. 263-266.

12. Boltianskyi B. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research/ B. Boltianskyi other. *Processes*, 2021, 9(7), 1144 https://doi.org/10.3390/pr9071144.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2021 р.

A. Skliar, R. Skliar, S. Grigorenko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

MODELING AND OPTIMIZATION OF ANNUAL TURNOVER OF CATTLE HERD

Summary

The article proposes a method of modeling and calculation of the optimal turnover of cattle (cattle) taking into account the relevant zootechnical and economic requirements for: herd composition, culling of cattle, transfer of sex and age groups from younger to

older, the ratio of individual groups in the herd the beginning of the year, the number of offspring, livestock that must be had at the end of the year. This will ensure further reproduction of the herd and increase livestock production. Herd turnover is understood as quantitative changes in the composition of age and sex groups of animals for a certain period (month, quarter, year). Based on the turnover of the herd, the volume of production and sale of livestock products, fodder base, the need for premises for animals, labor, mechanization and other production resources are planned. Herd turnover is calculated according to standards that depend on a number of factors. The main ones are the following: production rates of expanded reproduction of livestock and qualitative improvement of the herd; production direction of animal husbandry; biological features of certain species of animals; conditions for keeping and feeding animals; sanitary condition of the herd. A matrix of economic-mathematical model is formed for a specific livestock enterprise with certain initial data. The solution of the problem takes place in spreadsheets MS Excel, add-on «Solution Search». It is proved that it is expedient to use the optimization economic-mathematical model of herd turnover to predict the yield of cattle products. In the calculations, the value of the objective function is shown in kind, as prices for livestock products often change. The methodology developed and implemented at the livestock enterprise will increase the production and sale of livestock products.

Key words: modeling, turnover, herd, cattle, optimality criterion, milk, meat.

А. Г. Скляр, Р. В. Скляр, С. М. Григоренко
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГОДОВОГО ОБОРОТА СТАДА КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА

Аннотация

В статье предложена методика моделирования и расчета оптимального оборота стада крупного рогатого скота (КРС) с учетом соответствующих зоотехнических и хозяйственных требований по: структуре стада, выбраковке скота, переводу половозрастных групп из младших в старшие, соотношению отдельных групп в стаде, наличию скота на начало года, количества приплода, поголовья скота, которое необходимо иметь на конец года. Это обеспечит дальнейшее воспроизводство стада и рост производства животноводческой продукции. Выполнение вычислений производится в среде электронных таблиц MS Excel. Доказано, что для прогнозирования выхода продукции крупного рогатого скота целесообразно использовать оптимизационную экономико-математическую модель оборота стада. Разработанная и реализуемая на животноводческом предприятии методика позволит увеличить производство и реализацию продукции животноводства.

Ключевые слова: моделирование, оборот, стадо, крупный рогатый скот, критерий оптимальности, молоко, мясо.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-14

УДК 636.2:633.58

Б. В. Болтянський[1], к.т.н. ORCID: 0000-0003-2072-4025
О. С. Колодій[1], к.т.н. ORCID: 0000-0003-2237-6730
А. О. Парієв[2], к.т.н. ORCID: 0000-0001-7193-1409
О. О. Дробишев[2] ORCID: 0000-0002-7302-5060
Т. М. Коротченко[2] ORCID: 0000-0002-1660-7187
[1]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
e-mail: boris.boltianskyi@tsatu.edu.ua,
[2]*Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва*
e-mail: imtuaan@ukr.net

ВИЗНАЧЕННЯ ЕНЕРГОЄМНОСТІ ПРОЦЕСУ РОЗКИДАННЯ СТЕБЕЛЬЧАСТОГО МАТЕРІАЛУ З РУЛОНІВ

Анотація. В статті приведено методику та результати експериментальних досліджень по визначенню потужності, що споживається на привод робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки для покриття стійл (боксів) корів та енергоємності процесу розкидання стебельчастого матеріалу з рулонів.

Для механізації процесу внесення підстилки в Запорізькому науково-дослідному центрі з механізації тваринництва НААН України розроблено розкидач, призначений для внесення солом'яної підстилки при безприв'язно-боксовому утриманні великої рогатої худоби. Експериментальний зразок розкидача з роторно-пальцевим робочим органом спроєктовано і виготовлено в комбінації з радіальними і гнутими пальцями на роторі [1].

Експериментальними даними встановлено, що потужність, яка споживається на привод роторно-пальцевого робочого органу мобільного розкидача солом'яної підстилки при частоті обертання хвостовика ВВП трактора 540 хв.-1, поступальній швидкості руху агрегату 2 км/год. та продуктивності 1,5 кг/с дорівнює 7,633 кВт. В нашому випадку у зв'язку з встановленням роторно-пальцевого робочого органу для розкидання солом'яної підстилки споживана потужність зросла на 9%. Дане зростання не буде мати суттєвого впливу на загальну енергоємність технологічного процесу внесення підстилкового матеріалу, оскільки запас потужності трактора даного класу цілком дозволяє його використання.

© Б. В. Болтянський, О. С. Колодій, А. О. Парієв, О. О. Дробишев, Т. М. Коротченко

Ключові слова: розкидач, роторно-пальцевий робочий орган, експериментальні дослідження, споживана потужність, енергоємність.

Постановка проблеми. На даний час для механізованої доставки і розкидання підстилки використовують спеціальні машини, які можуть бути як універсальними (кормороздавачі, кормороздавачі-змішувачі), так і спеціалізованими (тюковози-подрібнювачі «Castor», «Tomahawk», PRIMOR, ИСРК-12 тощо). Але, як показує практика, відомі розкидачі підстилки, переважно закордонного виробництва, мають досить суттєві технологічні і економічні недоліки [1-3].

Технологічним недоліком сучасного обладнання є значна запиленість приміщень (розкидачі переважно вентиляторного типу) [3-5], а економічним – великі енерговитрати на процес подрібнення та внесення підстилки: подрібнювачі-роздавачі рулонів (1 рулон) потребують на привод робочих органів 40-50 кВт, а міксери вже – 44-60 кВт. До того ж, для всіх технологічних операцій у обладнання, яке пропонується, використовується коштовне рідке паливо (дизель). Тому перспективне обладнання повинно бути енергоощадним, при зниженні питомих енерговитрат на процес внесення підстилки за безприв'язно-боксового утримання худоби [6-8].

Аналіз останніх досліджень. Розробкою, на якій базуються наші дослідження, займалися багато вчених в тому числі В. Д. Роговий, А. А. Музика, М. А. Тищенко, В. В. Сухоруков, Н. В. Брагінець та ін. [9-11].

В ЗНДЦМТ ННЦ «ІМЕСГ» спільно з ТОВ «Оріхівсільмаш» виготовлено обладнання для технологічного процесу внесення солом'яної підстилки на фермах великої рогатої худоби на базі кормороздавача типу КТУ-10А (рис. 1), технічна характеристика якого представлено в табл. 1.

Робочим органом для внесення підстилки є ротор з чотирма рядами пальців. Роторно-пальцевий робочий орган обладнання встановлено у вивантажувальному вікні над поперечним стрічковим транспортером таким чином, що вивантажувальна маса викидається з транспортера робочим органом перпендикулярно напряму руху обладнання [1-3].

На підставі раніше проведених досліджень встановлено, що для якісного розподілу підстилки ротор повинен мати діаметр від 450 мм до 500 мм, чотири ряди загострених під кутом від 15° до 30° круглих пальців, розташованих радіально до осі обертання. Товщина пальців повинна становити не більше 14 мм, а відстань між ними в ряду від 50 мм до70 мм [1].

Розробка обладнання для технологічного процесу внесення солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом відповідає зоотехнічним і технологічним вимогам та є енергоощадним

обладнанням, що дозволяє зменшити енергетичні витрати та підвищити якість виконання технологічного процесу розкидання підстилкового матеріалу з рулонів [3].



Рисунок 1. Загальний вид обладнання для технологічного процесу внесення солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом

Таблиця 1

Технічна характеристика обладнання з роторно-пальцевим робочим органом для технологічного процесу внесення солом'яної підстилки

Найменування параметру	Значення параметру
Вантажопідйомність, т	4
Місткість, $м^3$	10
Габаритні розміри, мм	6670x2300x2500
Колія, мм	1800
Маса, кг	2300
Транспортна швидкість, км/год.	30
Потужність, кВт	7,5
Агрегатування з тракторами класу 0,9 і 1,4	Т-40, МТЗ, ЮМЗ
Дальність розкидання соломи на підстилку, м	1,5-5
Продуктивність при розкиданні соломи, т/год.	0,5-3
Лінійна щільність розкидання соломи на підстилку, $кг/м^3$	0,5-1,5

Формулювання мети статті. Визначити вплив конструктивно-режимних параметрів роторно-пальцевого робочого органу на енергоємність процесу розкидання підстилкового матеріалу з рулонів.

Основна частина. Експериментальними дослідженнями з енергетичної оцінки обладнання з роторно-пальцевим робочим органом з приводом від ВВП трактора було визначено потужність,

споживану на привод роторно-пальцевого робочого органа мобільного розкидача солом'яної підстилки та визначено питомі енерговитрати процесу розкидання підстилкового матеріалу [5,12].

Для обладнання з приводом робочих органів від ВВП трактора потужність (кВт) розраховують за формулою [5]:

$$N_{ВВП} = 1{,}047 \cdot 10^{-3} M_{ВВП} \cdot n_{ВВП}, \quad (1)$$

де $M_{ВВП}$ - крутний момент на хвостовику вала відбору потужності трактора, Н·м;

$n_{ВВП}$ - частота обертання хвостовика вала відбору потужності трактора, хв.$^{-1}$.

Питомі енерговитрати (кДж/кг) розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом) обчислюємо за формулою [5]:

$$E = \frac{N_M}{W_O} 3{,}6, \quad (2)$$

де N_M - потужність, споживана розкидачем солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом, кВт;

W_O - продуктивність розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом, кг/с.

Показники енергетичної оцінки визначались за результатами вимірів, отриманих при випробуваннях. На кожному режимі роботи обладнання повинні бути виконані не менше чотирьох вимірів кожної величини, тривалістю не менше 20 с. При визначенні показників енергетичної оцінки навісних, напівнавісних або причіпних сільськогосподарських машин з приводом робочих органів від валу відбору потужності трактора вимірюють:

- час (тривалість) вимірювання – секундоміром;
- довжину шляху, що пройшов мобільний розкидач солом'яної підстилки за час вимірювання та ширину смуги розкидання – рулеткою (рис. 2).
- крутний момент на валу відбору потужності – прохідним струмознімальним ртутно-амольгамованим пристроєм (ТРАП) (рис. 3);
- частоту обертання валу робочого органа та валу відбору потужності – тахометром (рис. 4);
- фіксацію даних – за допомогою ПЕОМ з програмним забезпеченням Oscill (рис. 5).

Результати випробувань по визначенню показників енергетичної оцінки наведено в табл. 2 [6].



Рисунок 2. Визначення довжини шляху, що пройшов мобільний розкидач солом’яної підстилки та ширини смуги розкидання

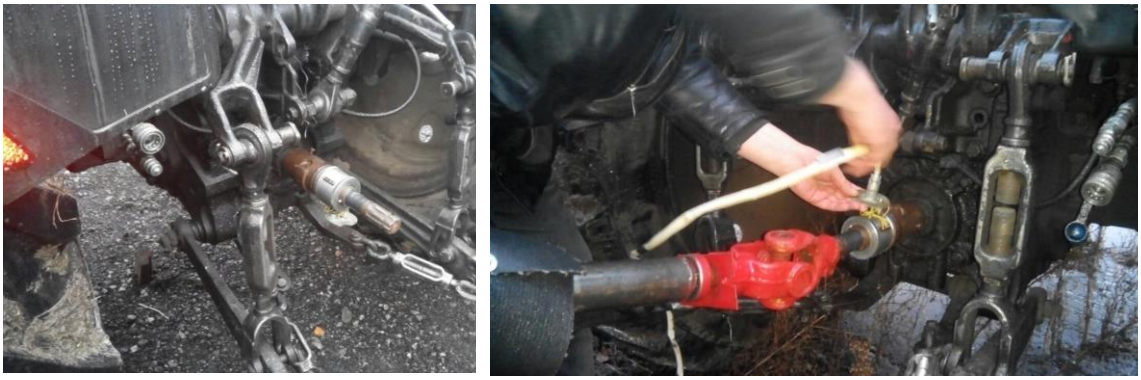


Рисунок 3. Визначення крутного моменту на валу відбору потужності трактора



Рисунок 4. Визначення частоти обертання валу робочого органа та валу відбору потужності

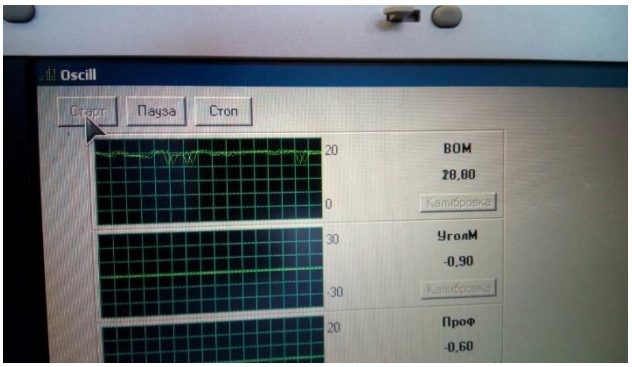


Рисунок 5. Реєструюча апаратура, ПЕОМ та програмне забезпечення Oscill

Таблиця 2

Показники, що визначаються при енергетичній оцінці розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим робочим органом

Найменування показника	Значення показника
Режим роботи: - поступальна швидкість руху агрегату, км/год. - дальність розкидання підстилки, мм - ширина смуги розкидання підстилки (*max*), мм - продуктивність, кг/с	 2 2100 3000 1,5
Потужність, що споживається на привод робочого органу, кВт	7,633
Питомі енерговитрати (енергоємність), кДж/кг	1,2-3,8

Аналіз експериментальних даних показав (рис. 6), що більш напруженим є пуск робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки в тому випадку, коли хвостовик редуктора ВВП трактора ЮМЗ-8040.2 налаштований на частоту обертання 540 хв.$^{-1}$ [6].

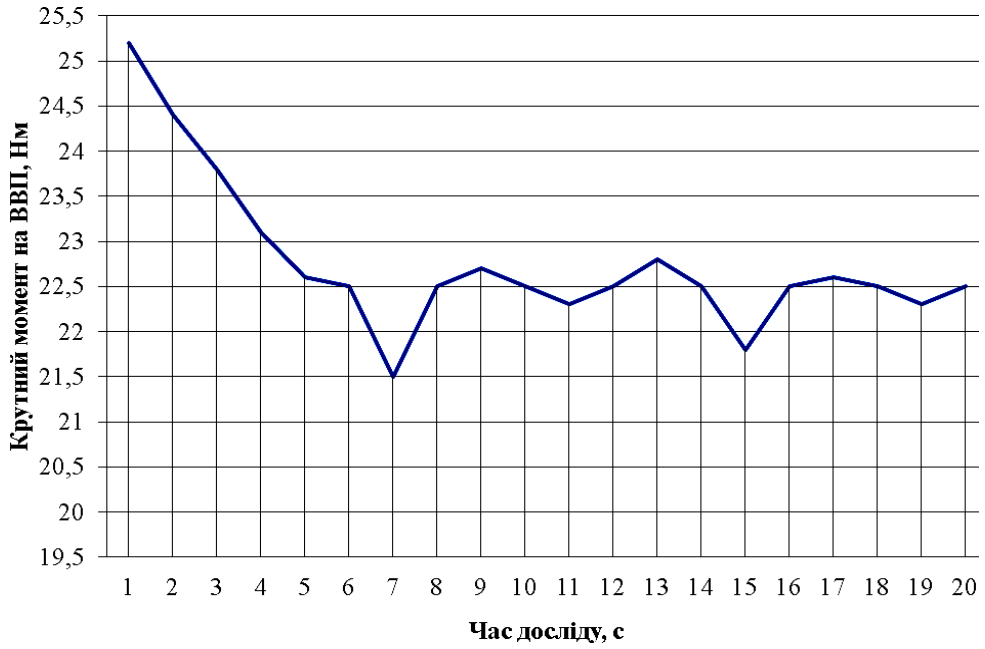


Рисунок 6. Динаміка зміни крутного моменту на ВВП трактора при частоті обертання хвостовика 540 хв.$^{-1}$

Крутний момент при цьому приблизно через 1 с після пуску досяг свого максимального значення на рівні 25,2 Нм. Починаючи з 8 с досліду середнє значення крутного моменту становило 22,5 Нм (рис. 6).

Частота обертання роторно-пальцевого робочого органа при передаточному відношенні приводу 0,6 склала 324 хв.$^{-1}$.

Отже, потужність, що споживається на привод робочих органів мобільного розкидача солом'яної підстилки з роторно-пальцевим барабаном дорівнює:

$$N_{ВВП} = 1{,}047 \cdot 10^{-3} \cdot 22{,}5 \cdot 324 = 7{,}633 кВт.$$

Висновки. Експериментальними даними встановлено, що потужність, яка споживається на привод роторно-пальцевого робочого органу мобільного розкидача солом'яної підстилки в агрегаті кормороздавача КТУ-10А і трактора ЮМЗ-8040.2 при частоті обертання хвостовика ВВП трактора 540 хв.$^{-1}$, поступальній швидкості руху агрегату 2 км/год. та продуктивності 1,5 кг/с дорівнює 7,633 кВт.

Згідно з технічною характеристикою базового кормороздавача КТУ-10А потужність, що витрачається на привод робочих органів, дорівнює 7кВт. В нашому випадку у зв'язку з встановленням роторно-пальцевого робочого органу для розкидання солом'яної підстилки споживана потужність зросла на 9%. Дане зростання споживаної потужності не буде мати суттєвого впливу на загальну енергоємність робочого процесу внесення підстилкового матеріалу, оскільки номінальна експлуатаційна потужність трактора даного класу згідно його технічній характеристиці становить 57,4+3,7 кВт. Це цілком дозволяє його використання.

Список використаних джерел

1. Парієв А. О., Дробишев О. О., Коротченко Т. М. Експериментальний зразок розкидача солом'яної підстилки. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград: КНТУ, 2015. Вип. 45, ч. 1. С. 223-227.

2. Париев А., Дробышев О., Коротченко Т. Экспериментальные исследования разбрасывателя подстилки с роторно-пальцевым рабочим органом. *MOTROL. Commission of Motorization and Energeticsin Agriculture*. 2016. Vol. 18, № 1. С. 37-42.

3. Парієв А. О., Дробишев О. О., Коротченко Т. М. Апробація розкидача підстилки з роторно-пальцевим робочим органом у виробничих умовах. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2018-2-11.

4. Прокопенко К. Ю., Колодій О. С. Вплив вологості насіння соняшника на швидкість повітряного потоку. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали II Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (м. Мелітополь, 2-27 листопада, 2020 р.). Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 316-319.

5. Дереза С. В. Програма і методика експериментальних досліджень визначення енергетичних показників розкидача підстилки. *Науковий вісник Таврійського державного*

агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-7.

6. Sosnowski S. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *TEKA Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol.16, No 2. P. 49-54.

7. Boltyansky O. V. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, № 13. P. 49-

8. 54Skliar A., Demyanenko D. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production.* Springer Nature Switzerland AG. 2019. P. 249-258.

9. Boltianskyi B. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research / B. Boltianskyi et al. *Processes*. 2021. Vol. 9, № 7. 1144. DOI: 10.3390/pr9071144.

10. Болтянський Б. В. Підвищення ефективності технологічного процесу роздавання кормів на фермах великої рогатої худоби. *Сучасні проблеми землеробської механіки*: збірник тез доповідей XXII Міжнар. наук. конф. (м. Ніжин, 16-18 жовтня 2021 року). Київ-Ніжин, 2021. С. 72-75.

11. Boltianskyi O.V., Boltianska N.I. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. C. 27-29.

12. Підвищення ефективності функціонування молочно-товарної ферми на прикладі ПП «Могучий» Мелітопольського району Запорізької області / Д. П. Журавель, Р. В. Скляр, Л. О. Болтянська. *Тваринництво сьогодні*. 2021. № 3. С. 18-29.

Стаття надійшла до редакції 01.12.2021р.

B. Boltianskyi[1], O. Kolodii[1], A. Pariev[2], O. Drobyshev[2], T. Korotchenko[2]
[1]Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
[2]Zaporozhye research center for livestock mechanization

DETERMINATION OF ENERGY CONTENT OF THE PROCESS OF SCATTERING STRAW MATERIAL FROM ROLLS

Summary

The article presents the methodology and results of experimental studies to determine the power consumed to drive the working bodies of the mobile straw litter spreader to cover the stalls (boxes) of cows and the energy consumption of the process of scattering stem material from rolls.

To mechanize the process of litter application, the Zaporizhia Research Center for Livestock Mechanization of the National Academy of Sciences of Ukraine has developed a spreader designed for the application of straw litter with loose-boxing of cattle. An

experimental sample of a spreader with a rotary-finger working body is designed and manufactured in combination with radial and bent fingers on the rotor.

Experimental data show that the power consumed to drive the rotary-finger working body of the mobile straw litter spreader at the speed of the shaft of the PTO of the tractor 540 min.$^{-1}$, the translational speed of the unit 2 km/h. and a capacity of 1,5 kg/s is equal to 7,633 kW.

In our case, due to the installation of a rotary-finger working body for spreading straw litter, the power consumption increased by 9%. This growth will not have a significant impact on the overall energy intensity of the technological process of application of bedding material, as the power reserve of the tractor of this class allows its use.

Key words: spreader, rotary-finger working body, experimental researches, power consumption, energy consumption.

Б. В. Болтянский [1], А. С. Колодий [1],
А. А. Париев [2], О. А. Дробишев [2], Т. Н. Коротченко [2]
[1]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного
[2]Запорожский научно-исследовательский центр механизации животноводства

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭНЕРГОЕМКОСТИ ПРОЦЕССА РАЗБРАСЫВАНИЯ СТЕБЕЛЬЧАСТОГО МАТЕРИАЛА ИЗ РУЛОНОВ

Аннотация

В статье приведена методика и результаты экспериментальных исследований по определению мощности, потребляемой на привод рабочих органов мобильного разбрасывателя соломенной подстилки для покрытия стойл (боксов) коров и энергоемкости процесса разбрасывания стебельчатого материала из рулонов.

Для механизации процесса внесения подстилки в Запорожском научно-исследовательском центре механизации животноводства НААН Украины разработан разбрасыватель, предназначенный для внесения соломенной подстилки при беспривязно-боксовом содержании крупного рогатого скота. Экспериментальный образец разбрасывателя с роторно-пальцевым рабочим органом спроектирован и изготовлен в комбинации с радиальными и гнутыми пальцами на роторе. Экспериментальными данными установлено, что потребляемая мощность на привод роторно-пальцевого рабочего органа мобильного разбрасывателя соломенной подстилки при частоте вращения хвостовика ВОМ трактора 540 мин.$^{-1}$, поступательной скорости движения агрегата 2 км/ч и производительности 1,5 кг/с равна 7,633 кВт.

В нашем случае в связи с установкой роторно-пальцевого рабочего органа для разбрасывания соломенной подстилки потребляемая мощность выросла на 9%. Данный рост не будет оказывать существенного влияния на общую энергоемкость технологического процесса внесения подстилочного материала, поскольку запас мощности трактора данного класса полностью позволяет его использование.

Ключевые слова: разбрасыватель, роторно-пальцевый рабочий орган, экспериментальные исследования, потребляемая мощность, энергоемкость.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-15

УДК 631.861:579.222.2:608.3

А. С. Комар, інж. ORCID: 0000-0001-7037-8402
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: artem.komar@tsatu.edu.ua, тел:097-698-10-23

СУЧАСНІ ЗАПАТЕНТОВАНІ СПОСОБИ ПЕРЕРОБКИ ПОСЛІДУ ПТАХІВ

Анотація. В статті наведено сучасні способи та технології переробки посліду птахів. Кожна з наведених технологій має видимі та приховані недоліки. Відходи птахівництва використовуються неекологічно і нераціонально при зберіганні в сховищах для посліду, сушінні посліду різної вологості, компостуванні в бурти, спалюванні посліду, анаеробному розкладанні компосту для отримання біогазу, вермикомпостуванні, спалюванні відходів для отримання теплової та електроенергії, термічній сушці посліду птахів на органічне добриво, проведенні піролізу, переробки посліду в установках методом біоферментації. Робота містить короткий опис патентів на винаходи і корисні моделі з сучасними підходами до технологій переробки посліду птахів. Птахофабрики все більше ускладнюють і без того непросту екологічну ситуацію, так як накопичуваний пташиний послід є суттєвим джерелом забруднення навколишнього середовища. Показана відсутність системного та екологічного підходу до вирішення проблеми переробки посліду птахів. В країні необхідні спеціалізовані підприємства з переробки і утилізації відходів птахівництва.

Ключові слова: послід птахів, спосіб переробки, компостування, утилізація, розробка, патент.

Постановка проблеми. Утилізація посліду птахів є однією з найактуальніших екологічних проблем у світі, а її вирішення є пріоритетною задачею сільського господарства України [1-2]. На рівні з виготовленням основної продукції (м'яса і яйця птиці) на сучасних пташиних комплексах у великих кількостях виробляються відходи. Найбільша питома вага серед них належить посліду, згідно Класифікатору відходів ДК 005-96 наказу Держстандарту України від 29.02.1996 № 89 встановлено, що послід птахів відноситься до ІІІ класу небезпеки відходів. За даними Державної служби статистики України поголів’я птиці на 1 листопада 2021 р. в господарствах всіх категорій

© А. С. Комар

склав 226932,2 тис. гол. [3]. На сьогоднішній день в Україні функціонує 385 підприємств по вирощуванню свійської птиці. Різні за своєю потужністю, вони виробляють 8785,6 млн. яєць і 1628,6 тис. т м'яса щорічно [4].

Пташині підприємства і господарства населення щоденно накопичують послід [5]. Переробка посліду птахів перетворилася на складну проблему, оскільки вимагає грошових затрат, наявності площ під зберігання відходів та сільськогосподарських угідь під внесення отриманих органічних добрив тощо [6].

Аналіз останніх досліджень. Розробкою нових і вдосконаленням існуючих способів переробки і утилізації посліду птахів присвячена наукова діяльність таких вчених: В. М. Блинов, О. Г. Матвієць, С. А. Антонецький, І. Л. Демченко, М. Д. Мельничук, І. В. Юрченко, П. В. Северилов, О. І. Мінералов, В. В Братішко, М. М. Заблодський, М. О. Пантелєєв та ін. [7].

Для проведення якісного огляду і аналізу отриманої інформації була використана патентна інформація із спеціалізованих сайтів. Бази сайтів містять патенти, зареєстровані в Україні з 1996 р. (публікації Укрпатент) [7]. Необхідно виконати моніторинг інформації за 25 років (з 1996 по 2021 р.) за групами Міжнародної патентної класифікації (МПК). Відповідно до Міжнародної патентної класифікації визначено класифікаційні рубрики для пошуку. Розглянуті патенти належать переважно до розділу С – Хімія; класу С05 – Добрива; їх виробництво; підкласу С05F – Органічні добрива; груп С05F 3/00 – Добрива з фекалій людини або тварин, у тому числі гній і С05F 11/00 – Інші органічні добрива; класу С10 – Паливо; підкласу С10L – Види палива, не віднесені до інших підкласів; групи С10L 5/00 – Тверде паливо. Для зручності аналізу масив відібраної патентної інформації систематизовано по видачі в хронологічній послідовності.

Формулювання мети статті. Оглянути існуючі способи та описати нові технології використання посліду птахів проаналізувавши патенти України, видані за період із 1996 по 2021 рік включно.

В сучасному інтенсивному розвитку агропромислового виробництва птахофабрики потребують обґрунтованих комерційних та прибуткових природоохоронних технологій, які у птахівництві здатні забезпечити високоефективну переробку, підвищити енергоефективність сільськогосподарського виробництва [5, 8], суттєво зменшити або усунути серйозні проблеми пов’язані із впливом на навколишнє середовище відходів пташиного виробництва.

Підвищена винахідницька активність, пов’язана з переробкою посліду птахів, свідчить про появу нових наукових чи практичних проблем (або можливостей). Такі дії показують актуальність та затребуваність напряму у науці і на практиці [9] . Західні компанії, які

намагаються бути успішними та конкурентними, витрачають від 20 до 40 % свого прибутку на наукові дослідження. Це вважається найпопулярнішим шляхом забезпечення прогресу у розвитку пташиного підприємства [10].

Птахофабрики виробляють послід у великих об’ємах, тому дорого таку сировину продати просто неможливо, але якщо випускати високотехнологічну продукцію з високою додатковою вартістю, ситуація може змінитися. Винахідники, що працюють в цій галузі, можуть патентувати нові способи переробки та пропонувати нестандартні ідеї до використання. Нові відкриття зазвичай завжди забезпечують якісний стрибок [11-12].

При проведенні аналізу патентів останніх років, не завжди знаходилась можливість врахувати всі документи повністю, але проведений огляд, в принципі, дає уявлення про стан справ у галузі.

Основна частина. Світова криза відчутно вплинула на агропромислове виробництво України, у зв’язку з чим з 2010 по 2020 рр. збільшення поголів'я птахів відбулося лише на 15 %. Згідно даних Державної служби статистики України, поголів'я птиці станом на 1 листопада 2021 р. в господарствах усіх категорій країни склало 226,9 млн. гол., у тому числі 119,8 млн. гол. знаходиться у сільськогосподарських підприємствах, решта поголів'я – в фермерських і селянських господарствах населення [4].

В Україні функціонує майже 400 підприємств по розведенню свійської птиці, на яких, в залежності від утримання птиці, утворюється велика кількість рідкого (вологістю 95-96%) і твердого (65-76 % вологістю) посліду. Добовий вихід посліду в середньому від однієї особини складає 50-150 г [6]. Нескладні підрахунки дозволяють визначити, що маса посліду отриманої від птиці на порядок перевищує масу основної продукції, тобто м'яса і яєць. Якщо від однієї курки-несучки за один рік отримують яйця в кількості 250-300 шт. (15-18 кг маси яєць), то за аналогічний період курка виділяє 55-73 кг посліду вологістю 65-75%. Від бройлерів на кожен кілограм отриманого м’яса додатково отримують 3 кг посліду [13].

Накопичення пташиного посліду у великій кількості становить реальну небезпеку забруднення довкілля та негативно впливає на здоров’я людей поблизу цього виробництва, це стосується і несвоєчасної переробки органічних відходів птахівництва [6]. Оскільки кожен з відомих напрямів переробки посліду повністю не виправданий ні з екологічного, ні з економічного погляду, виникає гостра необхідність в удосконаленні існуючих, або ж розробці принципово нових технологій утилізації органічних відходів [14].

Згідно статистичних даних кількості відходів сільського господарства, утворених в Україні у 2019 р., пташиний послід складає

майже п’яту частину (1041,3 тис. т.) або 18 % від загальної кількості відходів утворених в сільському господарстві (5782,4 тис. т.) [6].

Найбільш дешевим і простим способом є внесення посліду в ґрунт без переробки. Така технологія утилізації відходів запускає низку проблем [8]: 1) надто затратне перевезення та внесення великої маси відходів; 2) не витримується норма внесених органічних відходів; 3) ґрунт, поверхневі та підземні води заражаються інфекційними та токсичними елементами; 3) накопичення нітратів, міді та цинку в рослинах та водних джерелах. Тож такий спосіб утилізації органічних відходів не знаходить широкого застосування у досвідчених агрономів. Послід також є джерелом неприємних запахів, виділень аміаку та сірководню, в ньому у значній кількості може міститися насіння бур’янів і яйця гельмінтів. Антибіотики, солі важких металів, радіонукліди, залишки пестицидів та інші токсичні речовини, залежно від низки умов, можуть міститися в органіці птахів. Розробники мають вирішити проблеми щодо усунення неприємного запаху, забруднення водних об’єктів стоками від пометосховищ, забруднення атмосфери тощо [15].

Огляд інформації по запатентованих способах дозволить зрозуміти стан питання в галузі, виявити певні закономірності і тенденції розвитку та вибрати перспективний напрямок подальших досліджень. Існують віддалені варіанти виготовлення органічних добрив, де можна використовувати широкий вибір складових: тирса, торф, солома, крейда, стружка тощо, де в повній мірі у різних комбінаціях. При виробництві таких добрив послід птахів може бути складовою частиною певних композицій, а його частка в них – незначною. Такі способи виробництва завжди запатентовані, а центри переробки можуть розташовуватися де завгодно. Разом з тим існують способи утилізації великої маси посліду, виготовлення яких зазвичай знаходиться поблизу птахофабрик. Досліджень та новацій більше потребує останній варіант. При аналізі ідей, щодо використання посліду птахів, можна виділити такі запатентовані технології [7]:

1) внесення у ґрунт без обробки, в чистому вигляді;
2) переробки шляхом тривалого витримування;
3) переробка пасивним методом компостування у бурти;
4) переробка активним методом компостування у бурти;
5) механічне сушіння в центрифузі або прес-фільтрах;
6) вакуумне сушіння;
7) термічне сушіння, можливо в поєднанні з грануляцією;
8) кавітаційний спосіб знезараження рідкого гною та посліду;
9) біоферментація в установках барабанного і камерного типу;
10) вермикомпостування;
11) мікробіологічна конверсія гною та посліду;

12) виробництва біогазу (метанове зброджування);

13) піроліз (термічне розкладання посліду без доступу кисню);

14) спалювання для отримання альтернативної електричної енергії;

15) спалювання для отримання теплової енергії;

16) виробництво біопалива.

Застосовують також комбінації вищезгаданих методів.

У таблиці 1 наведено патенти, присвячені способам переробки посліду птахів. Сучасні науковці пропонують нові (патент на винахід) або вдосконалюють раніше відомі (патент на корисну модель) технології утилізації органічних відходів птахівництва. Деякі з раніше відомих патентів стали прототипами для сучасних авторських рішень.

Таблиця 1

Короткий опис способів використання посліду птахів в Україні (1996-2021 рр.)

№	Назва розробки	Джерело	Короткий опис
1	2	3	4
1	Спосіб одержання гранульованого пташиного посліду	Патент на винахід № 10226 А від 25.12.1996	Спосіб дозволяє забезпечити стабільну вологість одержуваних гранул, більш ефективне знезараження, підвищення щільності гранул, збільшення їх сипкості, регульована та більш повна доступність поживних речовин рослинам. Спосіб включає розпилення рідкого посліду, його сушіння і гранулювання, вихідний послід нормалізують до вологості від 75 до 95%, подрібнюють до отримання однорідної пульпи з розміром частинок 20-300 мкм, створюють псевдозріджений шар з твердих частинок посліду, а гранулювання і сушіння здійснюють одночасно при розпиленні пульпи, що має температуру 45-90°.
2	Спосіб компостування гною	Патент на винахід № 28471 А від 16.10.2000	У способі застосовуються вуглеамонійні солі (ВАС) в нормі 3-4% від маси гною, що компостується. Забезпечує прискорення процесу приготування компосту за рахунок поєднання анаеробного і аеробного процесів, підвищення якості гною за рахунок знешкодження насіння бур'янів, яке міститься у свіжому підстилковому гної. Зменшення терміну компостування гною дозволяє більш ефективно використовувати земельні ресурси за рахунок скорочення терміну вилучення з сівозміни земель, призначених для розміщення буртів гною, передбаченого санітарними і агротехнічними вимогами економить енергетичних ресурсів.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
3	Спосіб одержання органо-мінерального добрива з пташиного посліду	Патент на винахід № 67567 А від 15.06.2004	Пташиний послід неперервно перемішують до отримання квазіоднорідної суміші. Очищують послід від пір'я, шкаралупи, каміння та інших домішок, розміри яких перевищують 1мм. Очищений пташиний
			послід вологістю 78мас. % беруть у кількості 73мас. %, додають 5мас. % гіпсу, та мінеральні добрива. Подрібнюють отриману масу до однорідної пульпи з розміром часток 30-450 мкм. та перемішують до повного розчинення мінеральних добрив. Сушка та гранулювання проводиться шляхом розпилення органомінеральної пульпи в псевдорідкий шар з температурою 55-90°.
4	Спосіб отримання органічного добрива з пташиного посліду	Патент на корисну модель № 12670 від 15.02.2006	Спосіб включає змішування пташиного посліду з наповнювачем та наступне компостування, яке відрізняється тим, що пташиний послід вологістю 90% змішують з наповнювачем у високообертовому змішувачі-аераторі при ваговому співвідношенні 1:3, а компостування проводять протягом 21 доби.
5	Спосіб виробляння добрива і/або кормової добавки з пташиного посліду	Патент на корисну модель № 16923 від 15.08.2006	Спосіб передбачає термічну обробку вихідної сировини теплоносієм у сушильній камері. Термічну обробку сировини ведуть у прямоточному з теплоносієм режимі, при цьому температура на початковому етапі термічної обробки сировини становить 800-1300°С.
6	Органо-мінеральне добриво пролонгованої дії та спосіб його одержання	Патент на винахід № 82653 від 12.05.2008	Добриво містить органічний компонент – пташиний послід, мінеральний компонент, а також цільову домішку – мідь сірчанокислу. Органічний компонент додатково містить свіжі або ферментовані вичавки: яблучні, томатні, плодові, ягідні, виноградні; мінеральний компонент – кременисті неглинисті сипкі агромінерали з вологоємністю не менше 50 %: трепел, діатоміт, опоку або їх суміші, у такому співвідношенні компонентів, мас. %: пташиний послід 30-40; мінеральний компонент 55-60; мідь сірчанокисла 1,5-2,0; вичавки 2,0-6,0.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
7	Спосіб вермикомпостування підстилкового гною	Патент на корисну модель № 33219 від 10.06.2008	Спосіб включає пошарове нанесення вермикомпосту з вермикультурою, підстилкового гною, наповнювача, створення відповідних умов шляхом поливу та аерування. Шари матеріалів розміщені в сітчастих піддонах, які встановлюються один на одному, кожен сітчастий піддон з вермикультурою межує зверху або знизу з сітчастими піддонами відповідно з підстилковим гноєм з одного боку і піддоном з органічними і мінеральними наповнювачами з іншого боку, а після завершення переробки підстилкового гною сітчасті піддони з готовим вермикомпостом, виймаються, а на їх місце встановлюються піддони з підстилковим гноєм і піддони з органічними і мінеральними наповнювачами.
8	Спосіб переробки пташиного посліду методом вермикультивування	Патент на корисну модель № 34719 від 26.08.2008	Спосіб включає додавання перед ферментацією до пташиного посліду в певному співвідношенні (4 варіанта) солому, тирсу, торф, пісок, після закінчення ферментації заселення готового субстрату черв'яками.
9	Кормова добавка з курячого посліду для підвищення імунітету птиці	Патент на корисну модель № 46999 від 11.01.2010	Кормова добавка для підвищення імунітету птиці і прискорення її зростання, що містить екстраговані речовини, яка відрізняється тим, що для повного використання всіх складових курячого посліду, вона є рідкою сумішшю курячого посліду, води і рослинної олії в рівних вагових частинах.
10	Спосіб виробництва біогазу та органічних добрив при зброджуванні багатокомпонентного субстрату	Патент на винахід № 93789 від 10.03.2011	Спосіб включає процеси підготовки органічної сировини (відходи різних харчових, в т.ч. молочних, оліє-жирових підприємств, боєнь, гній, гноївка, послід, гліцерин тощо) подрібненням і змішуванням рідкої та подрібненої твердої фаз субстрату, подачу одержаного субстрату до горизонтального ферментера, послідовне анаеробне зброджування субстрату у горизонтальному ферментері, а потім у вертикальному ферментері з наступним накопиченням і зберіганням одержаногох біогазу в газгольдері перед очисткою й енергетичним використанням, а органічних добрив після ферментації - у вертикальному сховищі перед внесенням на поля. Компоненти субстрату готують і піддають анаеробній ферментації диференційовано і таким чином, що тверду фазу органічної сировини в процесі підготовки піддають подрібненню і плющенню до часток не більше ніж 50 мм, і зберігають в анаеробних умовах при температурі від 4 до 24°С до зброджування у вертикальному ферментері.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
11	Органо-мінеральне добриво та спосіб безперервного його виробництва	Патент на винахід № 93913 від 25.03.2011	Органо-мінеральне добриво містить курячий послід, носій органічного вуглецю, суперфосфат, калій хлористий, перліт, цеоліт, яке відрізняється тим, що додатково містить карбамід, амофос, суперфосфат у вигляді порошку, а співвідношення компонентів, мас. %: курячий послід 70-79; носій органічного вуглецю 7,8-9,4; суперфосфат у вигляді порошку 7,8-9,4; карбамід 1,0-1,2; амофос 0,6-0,7; калій хлористий 0,6-0,7; цеоліт 2,5-3,0;перліт 0,3-0,4. Спосіб безперервного виробництва вищезгаданого добрива, в якому змішують курячий послід та носій органічного вуглецю, додають суперфосфат для зв'язування азотних сполук, переміщують одержану компостну масу до компостного цеху, де за допомогою компостної машини формують бурт, продувають повітрям компостну масу в бурті, доводять температуру компостної маси до +65...+75 °С і перемішують. перед змішуванням курячого посліду з носієм органічного вуглецю, його подрібнюють, суперфосфат додають у вигляді порошку, співвідношення курячого посліду, органічного вуглецю та суперфосфату становить 8:1:1, компостну масу продувають повітрям протягом 5-7 діб, а одержане органічне добриво змішують із заздалегідь підготовленою сумішшю мінеральних добавок: карбаміду, амофосу, калію хлористого, цеоліту, перліту.
12	Спосіб одержання органо-мінерального добрива з пташиного посліду	Патент на корисну модель № 70314 від 11.06.2012	Спосіб включає змішування пташиного посліду з наповнювачем та наступну обробку протягом 21 доби. Як наповнювач використовують надлишковий активний мул і шлам хімводопідготовки ТЕЦ при наступному співвідношенні, ваг. %: пташиний послід – 76-88, надлишковий активний мул – 10-20, шлам хімводопідготовки ТЕЦ – 2-4, при цьому змішування здійснюють в диспергаторі, а наступну обробку проводять шляхом послідовних операцій анаеробного зброджування та центрифугування.
13	Спосіб переробки курячого посліду на підстилці	Патент на корисну модель № 81996 від 10.07.2013	Спосіб полягає в тому, що перед використанням в пташниках підстилкова солома подрібнюється до розмірів 10-40 мм, за час використання змішується та насичується послідом, отримана субстратна суміш вологістю 35-40 % обробляється в роторно-вихровій камері з одночасним зневодненням до вологості 15-18 % та структуризацією матеріалу до розмірів 6-8 мм.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
14	Спосіб компостування органічних відходів	Патент на корисну модель № 94969 від 10.12.2014	Спосіб включає продувку об'єму органіки повітрям у герметизованій камері, зрошення маси речовини водою з додаванням у ній штамів аеробних мікроорганізмів. Додатково перед зрошенням проводять нагрівання маси органіки до температури порядку 40 °С з наступним відводом тепла з саморозігрітої маси за рахунок конвективної теплопередачі, а саму камеру теплоізолюють від навколишнього середовища.
15	Спосіб переробки пташиного посліду з отриманням органічного добрива та біогазу	Патент на корисну модель № 96929 від 25.02.2015	Спосіб включає подачу пташиного посліду в біореактор з подальшою ферментацією та виділенням біогазу, розділення отриманої в результаті ферментації маси на тверду фракцію та фільтрат за допомогою механічних засобів, причому переважна частина фільтрату подається на вхід біореактора та змішується з пташиним послідом; змішування здійснюють у відокремленій зоні змішування з перемішуванням суміші та подальшою подачею суміші в зону ферментації, утворену за технологією "fixed film", та її перемішуванням; частина фільтрату, який подається в зону змішування, регулюється так чином, щоб вологість суміші фільтрату та пташиного посліду знаходилась в межах 86-92 %; суміш витримується перед подачею в зону ферментації за технологією "fixed film" не менше однієї доби при температурі не нижче 25 °С; періодичність подачі суміші не перевищує однієї доби, а маса одноразової порції подачі суміші не перевищує 9 % від загальної маси суміші в біореакторі; ферментація в зоні за технологією "fixed film" здійснюється при температурі від 40 °С до 50 °С; при чому періодичність подачі суміші з зони змішування в зону ферментації за технологією "fixed film" та маса одноразової суміші забезпечують час перебування суміші в біореакторі в межах 11…14 діб.
16	Спосіб компостування органічних відходів	Патент на корисну модель № 100991 від 25.08.2015	Спосіб містить визначення структури і вологості компонентів суміші, вмісту вуглецю і азоту в їх сухій речовині, балансування суміші за поживними речовинами, змішування, розпушування і компостування послідовно в мезофільному і термофільному температурних режимах з керованою аерацією суміші. Аерацію проводять газоповітряною сумішшю з концентрацією кисню 5-18 % в залежності від температурного режиму компостування з частковим поверненням азоту, тепла та вологи в органічні відходи за рахунок використання вихідної газоповітряної суміші.

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
17	Спосіб переробки пташиного посліду з отриманням органічного добрива та біогазу та біореактор для його реалізації	Патент на винахід № 111409 від 25.04.2016	Спосіб включає подачу пташиного посліду в біореактор з подальшою ферментацією та виділенням біогазу, розділення отриманої в результаті ферментації маси на тверду фракцію та фільтрат за допомогою механічних засобів, причому переважну частину фільтрату подають на вхід біореактора та змішують з пташиним послідом, змішування здійснюють у відокремленій зоні змішування з перемішуванням суміші та подальшою подачею суміші в зону ферментації з іммобілізованою біоплівкою та її перемішуванням, при цьому частину фільтрату, який подається в зону змішування, регулюють таким чином, щоб вологість суміші фільтрату та пташиного посліду знаходилась в межах 86-92 %, а суміш витримують перед подачею її в зону ферментації з іммобілізованою біоплівкою не менше однієї доби при температурі не нижче 25 °С, при цьому періодичність подачі суміші не перевищує однієї доби, а маса одноразової порції подачі суміші не перевищує 9 % від загальної маси суміші в біореакторі.
18	Спосіб виробництва біокомпостних і вермикомпостних "чаїв"	Патент на корисну модель № 106026 від 11.04.2016	Спосіб включає ферментацію в пластикових або металічних ємностях (обладнаних механізмами для аерації і перемішування) твердої фракції органічних добрив виготовлених методом біологічної ферментації ("Біопроферм" або "Біоактив") та методом вермикультивування (вермикомпост) в водному середовищі (без хлору) у співвідношенні від 1:10 до 1:20, при температурі води до 20 °С з аерацією і перемішуванням протягом 28-32 годин, для посилення росту мікроорганізмів в водну суспензію додають цукор або мелясу в кількості 0,3 кг на 100 л води, після закінчення аерації суспензію відстоюють, фільтрують і отриманий водний настій використовують для обприскування листової поверхні вегетуючих рослин або для прикореневого підживлення.
19	Спосіб одержання органічного добрива	Патент на винахід № 116047 від 25.01.2018	Спосіб, в якому курячий послід змішують з гідроксидами лужних металів загальної формули MeOH, де Me=K, Na, у кількості до 1-6 % від маси посліду до отримання значень pH 8,0-11,0. Потім отриману суміш змішують з цільовими добавками у вигляді суміші триосновних кислот - лимонної і борної і сушать при температурі 60-65 °С при перемішуванні з видаленням води до вмісту її у добриві до 20-25 %. Тех. результат: покращено якість органічного добрива за рахунок збільшення кількості калію у складі органічного добрива і збільшення розчинності поживних речовин посліду у воді для прискорення засвоєння їх рослинами

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
20	Спосіб виробництва компосту	Патент на корисну модель № 136395 від 12.08.2019	Спосіб виробництва компосту на основі органічних відходів та рослинних матеріалів включає визначення вологості компонентів суміші, вмісту вуглецю і азоту в їх сухій речовині, балансування суміші за поживними речовинами, змішування і компостування. При визначенні масової частки вуглецю у рослинних матеріалах враховують вміст лігніну, а масу вуглецю визначають за математичною залежністю
21	Спосіб виробництва палива з посліду птахів	Патент на корисну модель № 139646 від 10.01.2020	Спосіб включає подавання посліду за допомогою транспортера до роторної камери, де відбувається його сушіння одночасно з процесом його подрібнення і знищення бактерій під впливом кінетичної енергії ротора за рахунок механічних відцентрових сил, тертя частинок посліду, відведення виділеної вологи та вивантажування готового продукту у вигляді порошку, в роторній камері здійснюють вплив на послід електромагнітного поля, ультрависоких відцентрових прискорень до 15000g при лінійній швидкості ротора 235 м/с, додаткове нагрівання посліду, а вивантаження готового продукту здійснюють за допомогою всмоктувальної аеросистеми
22	Спосіб виробництва компосту	Патент на винахід № 123639 від 06.05.2021	Спосіб, який включає визначення вологості компонентів суміші, вмісту вуглецю і азоту в їх сухій речовині, балансування суміші за поживними речовинами, змішування і компостування, де при визначенні масової частки вуглецю у рослинних матеріалах враховують вміст лігніну, а масу вуглецю визначають за формулою. Балансування суміші здійснюють додаванням до органічних відходів рослинних матеріалів із масовим вмістом біологічно доступного вуглецю, що у 25 разів перевищує масовий вміст азоту у сухій речовині органічних відходів. Масу лігніну у зрілому компості визначають для кожної партії готового компосту, після чого уточнюють значення коефіцієнта, що враховує ступінь біорозкладання лігніну, та визначають масу біологічно доступного вуглецю для наступної партії компосту.
23	Спосіб виробництва гранульованого палива з посліду птахів	Патент на винахід № 124116 від 22.07.2021	Спосіб в якому здійснюють гранулювання посліду в роторній камері за допомогою поліфункціонального електромеханічного перетворювача з зовнішнім ротором вплив низькочастотного електромагнітного поля, ультрависоких відцентрових прискорень до 15000 g, нагрівання посліду до температури

Продовження таблиці 1

1	2	3	4
			стерилізації. Здійснюють вивантаження порошку посліду за допомогою всмоктувальної аеросистеми з шибером і циклоном та нагнітальної аеросистеми поліфункціонального електромеханічного перетворювача, і послідуюче завантаження посліду птахів до електромеханічного шнекового гранулятора, в якому одночасно відбувається його перемішування, підігрів та транспортування до зони пресування, де при нагріванні і під дією низькочастотного магнітного поля, здійснюють пропарювання посліду і гранулюванню в режимі прохідного пресування. Далі виконують операції вивантаження і підсушування гранул потоком повітря, нагрітого за рахунок дисипативних складових енергії активних частин електромеханічного шнекового гранулятора.
24	Спосіб одержання органо-мінерального добрива з пташиного посліду	Патент на винахід № 124174 від 29.07.2021	Винахід стосується способу одержання органо-мінерального добрива з пташиного посліду, який включає отримання компостної суміші з пташиного посліду з носієм органічного вуглецю та з компонентом, який зв’язує азотні сполуки, наступне проведення аеробної термофільної та мезофільної ферментації, де ферментацію компостної суміші здійснюють у зволоженому стані, при цьому термофільну стадію здійснюють додаванням у компостну суміш інокулятів, бактерій, а при стабілізації компосту суміш мікроорганізмів

У кожному із наданих способів є видимі та приховані похибки, серед яких виділяється явне нераціональне і неекологічне використання посліду птахів:

- при компостуванні в бурти з використанням додаткових компонентів (солома, тирса, торф, шрот тощо) – тривалість процесу, забруднення навколишнього середовища;
- при компостуванні в купи з застосуванням додаткових компонентів (торф, солома, тирса тощо) – висока енергозатратність процесу, використання великих площ, втрата корисних елементів;
- при використанні заглиблених накопичувачів бетонних сховищ – утворення «озер з посліду», забруднення при порушенні їх герметичності;
- при складних технологіях сушіння посліду (вологістю 30-89 %) на органічне добриво – неекономічність;
- при застосуванні фільтрів для зневоднення посліду птахів –

високі витрати на отримання сухого матеріалу;

- при термічному сушінні посліду – втрата корисних якостей у ґрунті активатора біохімічних процесів, термічна сушка дорога в експлуатації;
- у процесі прямого спалювання посліду – виділення токсинів у повітря, підвищений вихід золи від 5-15% завантаженої сировини;
- при виготовленні гранульованого палива – спорудження ліній з ряду складного енергоємного обладнання (сушка, грануляція, охолодження, просіювання, пакування);
- при утилізації посліду птахів методом біоферментації в спеціалізованих установках – органічне добриво є кінцевим продуктом;
- при вермікомпостуванні – досить тривалий за часом і порівняно трудомісткий спосіб переробки посліду, який вимагає технологічного доопрацювання;
- при піролізному отриманні газу – залишається більш отруйна субстанція, ніж послід, яка вимагає спеціального поховання;
- при виготовленні біогазу – фінансові затрати на спорудження комплексу, великі площі під ферментатор;
- при використанні з посліду кормової добавки – трудомісткий процес підготовки сировини, неприйнятне для масового використання.

Мабуть найважливішою проблемою у рослинництві і землеробстві є підвищення вмісту гумусу та відновлення корисної мікрофлори виснаженого ґрунту, а відтак і врожайності сільськогосподарських культур. Саме послід курей є одним з основних інструментів для досягнення цієї мети [13]. Тому зрозумілим є обурення агрономів проти альтернативних варіантів використання посліду, адже пропозиції з анаеробного процесу розкладання компонентів компосту для отримання біогазу, виробництва твердого палива, та його спалювання для отримання теплової та електричної енергії вже використовуються.

Вермикомпост, збагачений цінними бактеріями, отримують після повної переробки органічного матеріалу дощовими черв’яками. Такий спосіб переробки досить поширений в Америці, Європі, Азії, Австралії. Можна без перебільшення сказати, що дощовий черв'як – це добре налагоджене пристосування з переробки та збагачення ґрунту. Відходи птахівництва спочатку компостують звичайним способом, так як свіжий послід непридатний для вирощування черв’яків, через наявність у ньому аміаку та сечової кислоти. Цей спосіб може використовуватися переважно в теплий період року, оскільки оптимальна температура для розвитку черв'яків складає близько 22 °С. П’ять мільйонів черв'яків за добу здатні переробити близько 10 т посліду [14]. З посліду отримують біогумус, який є цінним органічним добривом, що містить стимулятори росту рослин і використовується для поліпшення структури та

відновлення природної родючості виснажених ґрунтів.

Рішення у вигляді компостування у біотряншеях пропонується компанією Salmet (Німеччина). Технологія передбачає наявність трьох бетонованих траншей, з боків кожної з яких розміщені рейкові шляхи для переміщення установки. У передню частину першої траншеї завантажується послід вологістю 70-75 %, яка має форму бурта заввишки 1,5-2 м із розрахунку 18 т (25 м^3) посліду щодня [15]. Мобільний змішуючий агрегат повільно рухається рейками за заданою програмою, перемішує і створює умови для забезпечення проникнення кисню в органічну суміш. Цим досягається виникнення окиснення її фракцій з виділенням тепла, забезпечуються умови для зростання та прискореного розвитку мезо- та термофільних мікроорганізмів у загальній масі. За допомогою вивантажувального транспортера агрегат поступово переміщує органічну суміш до протилежного кінця траншеї. При цьому на початку траншеї звільняється місце для чергової порції посліду. Після повного заповнення першої траншеї установка переставляється на наступну траншею, після чого процес повторюється. Періодичність обробки у траншеях становить один раз на три дні. Щоденний вихід готового компосту – близько 6,3 т (9 м^3), протягом року така установка забезпечує виробництво 2300 т. органічних добрив.

Використання відходів птахівництва, тваринництва та рослинництва, а також вторинних ресурсів як альтернативних відновлюваних джерел теплової та електричної енергії давно є одним із найважливіших напрямів у енергетичній стратегії багатьох країн світу. Особлива увага приділяється розвитку технологій отримання біогазу. З 70-х років у Китаї почала діяти національна програма з видобутку біогазу і вже через 10 років у країні працювало понад 10 млн. фермерських біореакторів, які щороку робили 1,3 млрд. м^3 біогазу, що дозволило забезпечити теплом 35 млн. осіб. Крім малих фермерських установок, у Китаї працює 40 тис. великих та середніх біогазових станцій та 24 тис. біогазових очисних реакторів для обробки міських побутових відходів. 190 електростанцій працює на біогазі. Понад 60% всього автобусного парку країни, зокрема близько 80% у сільській місцевості, працюють на біогазових двигунах. Китай експортує біогаз і двигуни на йог основі більш ніж до 20 країн світу. Дуже інтенсивно біогазова галузь розвивається і в інших країнах Азії. Індія налічує близько трьох мільйонів біогазових установок різної продуктивності, в Непалі – близько 100 тис. біогазових установок [16].

За кордоном, а саме у Німеччині, Великій Британії і Нідерландах, успішно застосовують запатентовані технології біоконверсії в установках закритого типу. В 2014 р. у Великій Британії запущено перший завод з технологією попередньої обробки Xergi, яка дозволяє

проводити анаеробне зброджування великої кількості посліду птахів(75 тис. т/рік пташиного посліду та рослинних відходів) [9].

Фінська компанія «Дактор» спеціалізується на виробництві установок для утилізації курячого посліду. В даний час мільярди тон високоякісних органічних відходів (включаючи курячий послід, рибні відходи, відходи від м'ясного виробництва, пір'я тощо) не використовуються через те, що азот зупиняє виробництво біогазу і навантаження на навколишнє середовище. Технологія Ductor запобігає інгібування аміаку при виробництві біогазу. Запатентована мікробіологічна інноваційна технологія Ductor дозволяє усунути проблему, пов'язану з азотом, за рахунок переробки проблемних відходів у прибутковий продукт, придатний для вторинного використання. Наприклад, 20 тон курячого посліду дозволяють отримати 1 МВт електроенергії та 7 тон високоякісних органічних добрив [17].

На біогазовому паливі у Швеції працюють сотні автобусів та автомобілів. Завдяки біогазу потреби західноєвропейського тваринництва в паливі за останні 10 років скоротилися більш ніж на третину, причому біогазом опалюється не менше половини всіх птахофабрик. У Європі, в даний час, налічується понад 800 енергетичних комплексів, в тому числі 24 великих. Загалом в країнах ЄС за рахунок застосування біогазу щорічно намічено отримати додаткову енергію у розмірі 15 млн. тонн нафтового еквівалента. Активно розвивається біогазова галузь у ПАР, Австралії, Канаді, Японії та країнах Латинської Америки [18].

Відходи птахівництва в США та Англії, у тому числі і підстилка, широко використовують як паливо для обігріву приміщень та отримання електрики. В американських штатах з найбільшою концентрацією птиці (Меріленд, Делавер та Вірджинія) у 2001 р. у 600 пташниках було вирощено близько 540 млн. бройлерів, від яких отримано приблизно 0,5-1,2 млн. т. підстилкового посліду [18]. Майже 95 тис. т. посліду згодом було перероблено в паливні гранули (пелети), при цьому в них суттєво знижується вологість та знищуються різні патогени.

Технологія спалювання подрібненого посліду BPS (Biomass Processing System). Група канадських компаній HITEC Machinery пропонує технологію та комплект обладнання для переробки посліду птахів в сухе подрібнене паливо з подальшим спалюванням для отримання теплової та електричної енергії. Технологія BPS для спалювання подрібненого палива застосовується у США, Канаді, Японії, Кореї, Бразилії, Малайзії тощо [19-20]. Підготовка посліду до спалювання в даній технології передбачає завантаження посліду з вологістю ~ 30 %, а на виході курячий послід містить 10-12 % вологи і

перетворюється на порошок. Для спалювання використовуються пилові топки.

Наразі можливе використання посліду птахів різними відомими способами. Вчені Українського відділення ВНАП, стверджують, що з усіх численних технологій для середніх та великих птахофабрик може бути прийнятий лише єдиний спосіб – виробництво органічних добрив на основі посліду птахів [21]. Аналіз опублікованого матеріалу не дозволяє нам робити такі ж категоричні висловлювання, слід використовувати всі варіанти виробництва, в першу чергу добрива, але також і газу, тепла, пару, брикетів палива тощо, залежно від конкретних обставин та можливостей підприємств.

Висновки. Таким чином, з огляду патентної та іншої інформації, отриманої при дослідженні, випливає, що сучасні технології переробки посліду птахів в повній мірі не відповідають екологічному підходу до збереження навколишнього середовища і раціонального ведення агропромислового виробництва. Технології, що сьогодні використовуються для утилізації посліду птахів, наразі не вирішують цієї проблеми. Звичайно найкращою вважається закрита система переробки посліду, яка забезпечує більш повну утилізацію забруднювача довкілля. Сучасний етап світового розвитку вимагає економічно вигідної та екологічно чистої технології. Очевидно, що необхідні спеціалізовані підприємства з переробки посліду птахів.

Птахофабрикам та переробним підприємствам АПК, які займаються утилізацією посліду, необхідно моніторити останні тенденції, вивчати нові ідеї і модернізувати виробництво, вишукувати найрізноманітніші можливості переробки.

На сьогоднішній день підприємства в Україні не стимулюють фінансово науковий процес, не змушують вчених досліджувати та пропонувати альтернативні, менш трудомісткі та більш екологічно чисті способи переробки відходів. Необхідні способи отримання вихідної сировини з найменшою вологістю на стадії збирання посліду з пташників. Не розглядається і вирішується проблема неприємного запаху посліду, яка майже вирішується способами поліпшення кормів, використанні дезодоруючих добавок тощо. В будь-якому випадку млявий пошук екологічно і економічно вигідних способів переробки посліду та випуску високоякісної продукції на його основі нині продовжується. Оглянуті існуючі способи та описані технології використання посліду птахів допоможуть раціоналізувати і полегшити дослідження науковців щодо сучасного рівня переробки посліду птахів.

Список використаних джерел

1. Boltianska N., Skliar R. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research*: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Bilbao, Spain 2020. Pp. 431–433.

2. Manita I. Y. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. (1(19), 2021. Pp. 7–12.

3. Кількість сільськогосподарських тварин на 01 листопада 2021 року. Державна служба статистики України: Тваринництво. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2021/sg/ksgt/arh_ksgt2021_u.html (дата звернення: 29.11.2021).

4. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. // *Multidisciplinary academic research.* Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. Pp. 83-86.

5. Yardımcı M. Waste to Wealth Strategies: Recycling Poultry Manure. *Kocatepe Veterinary Journal*. 2013, 6(1), Pp. 69–72.

6. Комар А. С. Утилізація відходів птахівництва в Україні. *Інноваційні технології в АПК:* матер. VII Всеукр. наук.-практ. конф. Луцьк: Луцький НТУ. 2021. С. 62–64.

7. Патентний пошук за ключовими словами. Пошук патентів України на винаходи (корисні моделі), зареєстровані в Україні URL: https://base.uipv.org/searchINV/ (дата звернення 26.11.2021).

8. Скляр Р. В., Скляр О. Г. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.

9. Skliar R., Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *// Current issues of science and education.* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. Pp. 171-176.

10. Glatz P., Miao Z., Rodda B. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A Review. Sustainability. 2011. (3) Pp. 216-237.

11. Комар А. С. Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з перепелиного посліду. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. URL: http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/12964 (дата звернення: 26.11.2021)

12. Skliar O., Boltianska N. Basic methods of preparation of organic fertilizer from quail manure. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матер. III Міжн. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2021. С. 183-187.

13. Мельник В. А. Как перерабатывают птичий помет: удобрение и биогаз. Портал «Аграрний тиждень. Україна»: Новина за 15 березня

2019 р. URL: https://a7d.com.ua/novini/43216-kak-pererabatyvajut-ptichij-pomet-udobrenie-i-biogaz.html (дата звернення: 30.11.2021).

14. Sommer S.G., Christensen M.L., Schmidt T., Jensen L.S. Animal Manure Recycling: Treatment and Management. *West Sussex, United Kingdom*: Wiley, 2013. 372 p.

15. Sklyar R., Boltianska L., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. Processes 2021, 9(7), 1144; https://doi.org/10.3390/pr9071144.

16. Lazareva L.P. and Kostryakova O.N. Problems of Waste Management at Poultry Plants and Ways to Address Them. Materials Science and Engineering Conference Series. 2017. 7 p.

17. Болтянська Н. І. Основні параметри, що впливають на продуктивність гранулятора. *Інноваційне, технічне та технологічне забезпечення галузі тваринництва:* Матер. Міжнар. наук.-практ. конференції «». Харків: ХНТУСГ. 2020. С. 124-126.

18. McGowan T., Brown M., Bulpitt W. Biomass And Alternate Fuel Systems An Engineering And Economic Guide. *American Institute of Chemical Engineers, Inc. and John Wiley & Sons, Inc*. 2009. 280 p.

19. Комар А.С. Спалювати чи не спалювати пташиний послід? *Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва:* Тези VII Міжн. наук.-практ. конф. (27-28 травня 2021 р.) Умань: УНУС, 2021. С. 29-32.

20. Skliar O., Grigorenko S., Boltyanska N. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms // *Theory, practice and science*. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.

21. Комар А.С. Перепелиний послід в гранулах – ефективне органічне добриво. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві:* Матер. Х-ї Міжнародної науково-технічної конференції. Глеваха-Київ. 2021. С. 35-38.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2021 р.

A. Komar
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

MODERN PATENTED METHODS FOR RECYCLING OF BIRD DROPPINGS

Summary

Utilization of bird droppings is one of the most pressing environmental problems in the agrarian world. Its solution is a priority task for agriculture. At the level with the manufacture of the main products (meat and eggs of poultry), waste is produced in large quantities at modern poultry complexes. The largest share among them belongs to the

bird droppings. According to the State Statistics Service of Ukraine, the poultry population as of November 1, 2021 in farms of all categories is 226,932.2 thousand heads. Currently, there are 385 poultry breeding enterprises in Ukraine. Different in their capacity, they produce 8,785.6 million eggs and 1,628.6 thousand tons of meat annually.

Poultry enterprises and households accumulate droppings on a daily basis. The processing of bird droppings has become a complex problem, since it requires money, the availability of storage areas for waste and agricultural land for the application of the obtained organic fertilizers, etc.

The modern methods and technologies for recycling of bird droppings are presents in article. Each of these technologies has visible and hidden disadvantages. Poultry waste is used not ecologically and irrationally during storage in storages for droppings, drying droppings of various moisture content, composting into piles, burning droppings, anaerobic decomposition of compost for biogas production, vermicomposting, droppings incineration to obtain heat and electric energy, pyrolysis, and recycling of droppings in installations by biofermentation method. The work contains a brief description of patents for inventions and utility models with modern approaches to technologies for recycling bird droppings. Poultry farms are increasingly complicating the already difficult ecological situation, since the accumulated bird droppings is a significant source of environmental pollution. The absence of a systemic and ecological approach to solving the problem of recycling bird droppings is shown. The country needs specialized enterprises for the recycling and disposal of poultry waste.

Key words: bird droppings, recycling method, composting, disposal, development, patent.

А. С. Комар
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

СОВРЕМЕННЫЕ ЗАПАТЕНТИРОВАННЫЕ СПОСОБЫ ПЕРЕРАБОТКИ ПОМЕТА ПТИЦ

Аннотация

В статье представлены современные способы и технологии переработки помета птиц. Каждая из приведенных технологий имеет видимые и скрытые недостатки. Отходы птицеводства используются неэкологично и нерационально при хранении в хранилищах для помета, сушке помета различной влажности, компостировании в бурты, сжигании помета, анаэробном разложении компоста для получения биогаза, вермикомпостировании, сжигании отходов для получения тепловой и электрической энергии, проведении пиролиза, переработки помета в установках методом биоферментации. Работа содержит краткое описание патентов на изобретения и полезные модели с современными подходами к технологиям переработки помета птиц. Птицефабрики все больше усложняют и без того непростую экологическую ситуацию, так как накапливаемый птичий помет является существенным источником загрязнения окружающей среды. Показано отсутствие системного и экологического подхода к решению проблемы переработки помета птиц. В стране необходимы специализированные предприятия по переработке и утилизации отходов птицеводства.

Ключевые слова: помет птиц, способ переработки, компостирование, утилизация, разработка, патент.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-16

УДК 631.3.07

Д. П. Журавель, д.т.н. ORCID: 0000-0002-6100-895X
А. М. Бондар, к.т.н. ORCID: 0000-0002-4761-9084
Г. І. Дашивець, к.т.н. ORCID: 0000-0003-2612-6077
В. В. Паніна, к.т.н. ORCID: 0000-0001-9623-516X
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua

ОБҐРУНТУВАННЯ ШВИДКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Анотація. У статті обґрунтовано швидкісні параметри машинно-тракторного агрегату (МТА) під час виконання технологічних операцій. Розглянуто найбільш поширені сільськогосподарські операції, які потребують підвищеної точності виконання. Розроблена схема руху МТА вздовж базової лінії, яка дала змогу розробити математичну модель руху транспортного засобу з традиційним та адаптивним рульовим керуванням. Проведені розрахунки руху МТА у віртуальному режимі: з використанням ЕОМ та польові випробування. Випробування МТА проводилися на різних швидкісних режимах (зміна відбувалося від 1м/с до 3,6 м/с) під час виконання другої міжрядної обробки кукурудзи. Отримані результати підтверджують ефективність використання адаптивного рульового керування на підвищених швидкісних режимах.

Ключові слова: рульове керування, маневреність, траєкторія руху, базова лінія, міжрядний обробіток, агротехнічні вимоги.

Постановка проблеми. Інтенсифікація сільськогосподарського виробництва - це насамперед збільшення продукції з одиниці займаної площі при можливо менших витратах матеріальних засобів і праці. Якість робіт, які виконують механізми, багато в чому обумовлена стабільністю технологічних процесів [1-5].

Варто визначати межі оптимальних режимів роботи та знайти технологічні прийоми, які дозволять різко підвищити продуктивність праці. У зв’язку з переходом до комплексної механізації та автоматизації виробничих процесів стабільність сільськогосподарських процесів здобуває ключове значення.

© Д. П. Журавель, А. М. Бондар, Г. І. Дашивець, В. В. Паніна

В зв’язку з удосконаленням конструкцій машин, керування ними ускладняється. З’являється проблема керування за допомогою машин. Однак автоматизація керування економічно вигідна лише за певних умов [6-10].

Аналіз останніх досліджень. Керованість трактора є важливим експлуатаційним фактором, який впливає на агротехнічні, експлуатаційні та техніко-економічні показники машинно-тракторного агрегату, але в той же час, це дуже широке поняття, тому що включає в себе такі питання як стійкість, стабільність руху та маневреність колісної машини. Розв’язанням проблем, пов’язаних із використанням рульових механізмів з нелінійною характеристикою займалися такі науковці, як: А. С. Литвинов, Д. Р Еллис, І. В. Ходес, М. Н. Лисов, М. А. Подригало, Ч. М. Лавров, А. Т. Лебедєв., М. А. Бахмутський, І. О. Ефремов, Ю. І. Судаков, В. М. Шабалов, В. О. Петров, М. М. Лубяний, В. Ф. Коновалов та ін. Ними було встановлено, що найбільш ефективними є рульові керування із плавною нелінійчастою характеристикою, а найбільш перспективними для вдосконалення є гідравлічні та гідрооб’ємні рульові керування [11-15].

Найбільш прогресивним є застосування двоканальної схеми рульового керування, яка дозволяє змінювати функціональні властивості рульового приводу залежно від технологічної потреби. Наприклад, змінювати передаточне число рульового механізму залежно від швидкості руху МТА.

Такий підхід дає змогу значно підвищити технологічні швидкості під час виконання сільськогосподарських операцій із повним дотриманням агротехнічних вимог до відповідних операцій [16-20].

Формулювання цілей статті. Підвищення ефективності роботи колісних тракторів при виконанні сільськогосподарських операцій за рахунок використання рульового керування із адаптивним передаточним співвідношенням.

Основні матеріали дослідження. Розрізняють стабілізуючу, програмну й стежачу системи керування. Стабілізуюча система зберігає регульовану величину незмінною. Система програмного керування змінює регульовану величину по заданій програмі. У системах стеження регульована величина також змінюється за часом, але закон зміни її заздалегідь невідомий.

Людина-оператор може застосовувати всі види керування, і залежно від ситуації переходити від одного виду керування до іншого [1-3].

У сучасних сільськогосподарських агрегатах в основному застосовують керування по розімкнутому циклу; автоматичне керування із замкнутим або комбінованим циклом і керування за участю людини по замкнутому циклу.

Сполучення звичайного рульового механізму з механізмом приводу для повороту направляючих коліс - це передача з виграшем у силі (звичайно з постійним передатним числом або з передатним числом, що змінюється по заданому постійному законі). При деяких значеннях повороту передаточне число може бути іншим, ніж при малих кутах повороту рульового колеса (рис. 1).

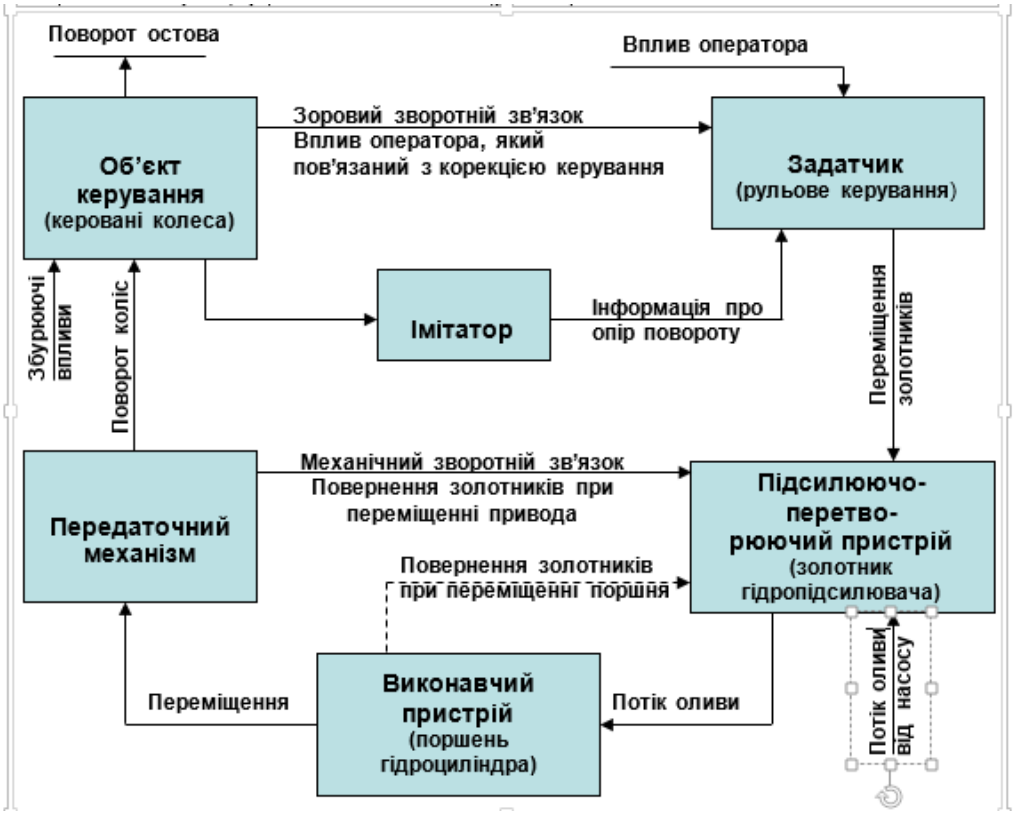


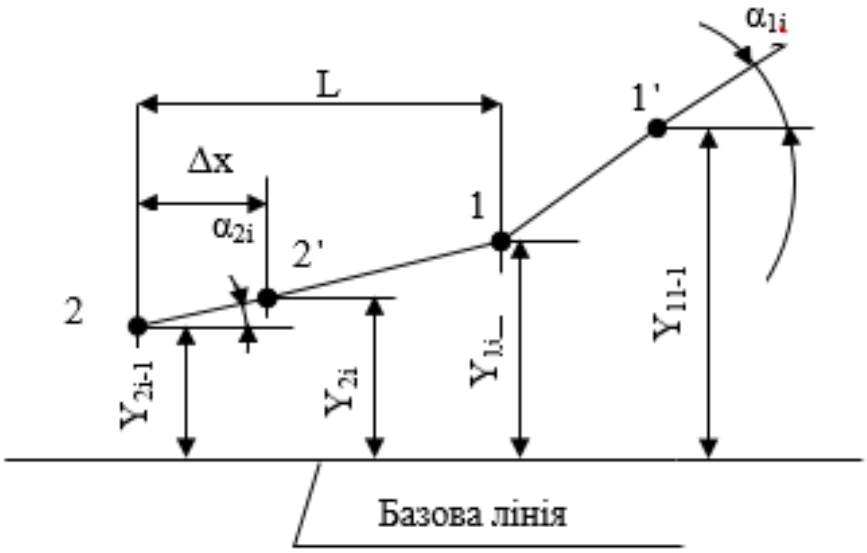
Рисунок 1. Структурна схема гідропідсилювача рульового керування

Гідравлічна система керування дозволяє задавати на вході будь-яку закономірність - M*(t)* або ω(t) - та одержувати на виході збільшену копію цих функцій. Причому для виконання роботи на виході використовується енергія двигуна [4].

Відомо, що у даний час використання натурних експериментів може відбуватися лише після того, як буде виконана їх апробація на різноманітних симуляторах. Це дозволяє заощадити кошти та час, а також виявити значну кількість недоробок на етапі проектування. Дуже важливою є розробка симуляторів, які б працювали в інтерактивному режимі. Саме тому була розроблена математична модель з покроковим обчисленням положення транспортного засобу відносно базової лінії під час руху.

В основу побудови математичної моделі покладена схема двоточкової моделі. Тому для визначення положення об'єкта на площині необхідно знати дві точки або одну точку та курсовий кут [5,6].

Відповідно з цим, схема процесу керування МТА вздовж базової лінії буде мати наступний вигляд (рис.2).



L – довжина колісної бази трактора; α_1 – кут повороту передніх керуючих коліс; α_2 – поточне значення курсового кута; Y_1, Y_2 – поточне значення відхилень від базової лінії переднього та заднього коліс трактора відповідно; Δx – шаг квантування моделі по переміщенню

Рисунок 2. Схема переміщення МТА вздовж базової лінії

Дискретна математична модель традиційного рульового керування в даному випадку має вигляд (1):

$$\begin{cases} a_{1i} = \dfrac{a_i}{W}; \qquad \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ a_{3i} = \dfrac{\left(Y_{1i-1} - Y_2\right)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + \left(a_{3i} + a_{1i} + \delta_i\right) \cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + a_{3i} \cdot \Delta x \end{cases} \tag{1}$$

де V – швидкість руху МТА;

W – передаточне відношення рульового механізму;

Δt – крок квантування по часу (0,05 с);

δ – значення збурюючого кута вводу еластичних шин.

Під час руху машинно-тракторний агрегат відхиляється від заданої траєкторії внаслідок дії на нього зовнішніх збурюючих факторів. Це призводить до того, що оператору необхідно постійно виконувати корегуючи дії рульовим колесом.

При застосуванні адаптивного рульового керування передаточне співвідношення розраховувалось наступним чином:

$$W_i = W\left(1+\frac{V}{V_0}\right), \qquad (2)$$

де V_0 - середнє значення швидкісного діапазону МТА (const).

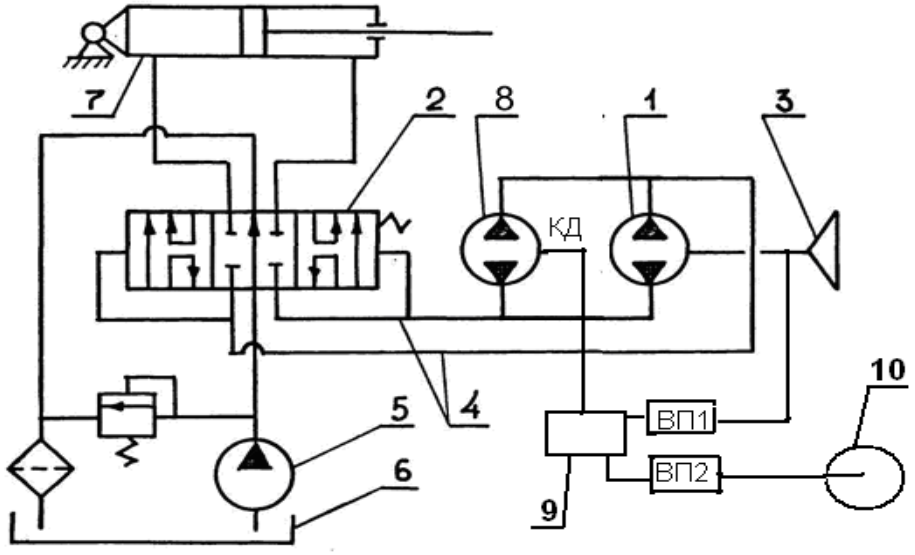
Для того, щоб провести дослідження математичної моделі був розроблений комп'ютерний імітатор, який дав змогу проводити віртуальний заїзд у інтерактивному режимі. При цьому також порівнювались результати процесу керування МТА із традиційним рульовим керуванням і адаптивним рульовим керуванням, тобто з перемінним передаточним співвідношенням рульового механізму.

Враховуючи рівняння (2), систему (1) можливо записати у наступному вигляді:

$$\begin{cases} \Delta x = V_i \cdot \Delta t; \\ W_i = W\left(1+\frac{V_i}{V_0}\right) \\ a_{1i} = \frac{a_i}{W_i}; \\ a_{2i} = \frac{\left(Y_{1i-1} - Y_2\right)}{L}; \\ Y_{1i} = Y_{1i-1} + \left(a_{3i} + a_{1i} + \delta_i\right)\cdot \Delta x; \\ Y_{2i} = Y_2 + a_{3i} \cdot \Delta x \end{cases} \qquad (3)$$

Для вирішення питання організації адаптивного рульового керування була розроблена конструкція гідрооб'ємного рульового керування з постійною чутливістю [9-12]. Замість механічного диференціала в управлінні використовувалось одноконтурне гідрооб'ємне рульове керування з двома паралельно включеними насосами-дозаторами: основним і корегуючим. Це дає можливість корегувати чутливість рульового керування МТА на всіх швидкісних режимах.

Для цього додатковий насос-дозатор оснащений кроковим мікропроцесорним сервоприводом з двома вимірювальними перетворювачами, які пов'язані з рульовим валом та колесом транспортного засобу таким чином, щоб вимірювальні перетворювачі були пов'язані з мікропроцесорним сервоприводом, який керує кроковим двигуном (рис. 3).



1– основний насос-дозатор, 2 – гідравлічно-керований золотник, 3 – рульове колесо, 4 – гідравлічні канали, 5 – підживлюючий насос, 6 – картер, 7 – виконавчий гідромеханізм, 8 – корегуючий насос–дозатор, 9 – мікропроцесорний сервопривод, 10 – керуюче колесо.

Рисунок 3. Схема гідрооб'ємного рульового керування з постійною чутливістю

Розроблена математична модель адаптивного рульового керування забезпечує сумісність високої маневреності і стабільності руху МТА на підвищених технологічних швидкостях.

Експеримент проводився на ЕОМ, що дало змогу провести дослідження у повному обсязі, а також з урахуванням агротехнічних вимог. Результати експерименту наведено на рис. 4-6. Після завершення заїзду результати оброблялись розробленими програмами і наводились у наступному вигляді:

Тип рульового керування:	постійної чутливості
Величина перешкод:	2
Довжина колісної бази, м.:	2750
Передатне відношення керма	2 – 19
Кількість експериментальних точок, шт.:	1024

Дисперсія:	5,30043844722863E-5
Середнє квадратичне відхилення, м.:	0,012528041100984596
Коефіцієнт асиметрії:	2,11890430213473
Ексцес:	8,46024030617446
Добротність, $с^{-1}$:	80,365990913745743

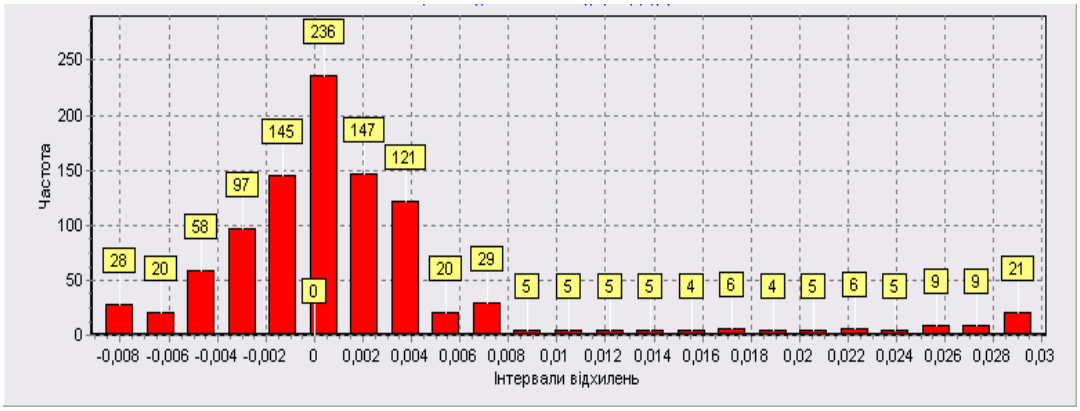


Рисунок 4. Гістограма вихідного відклику відхилень від середини дороги

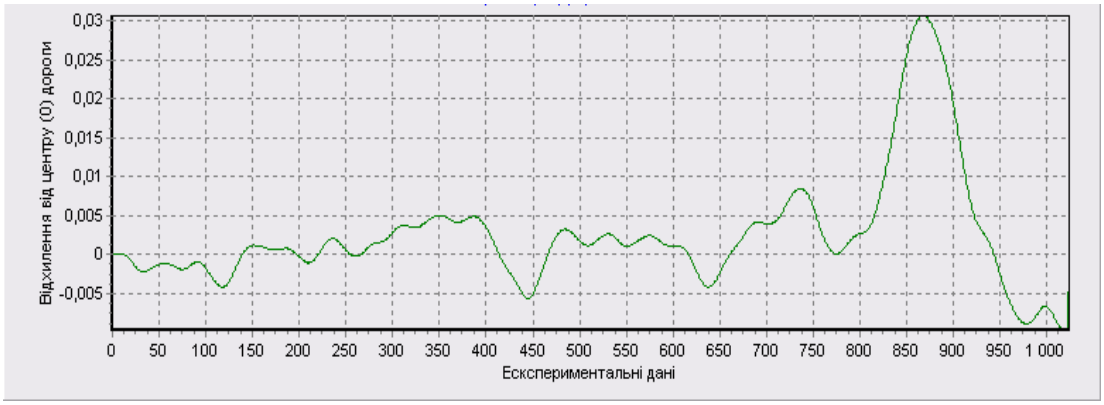


Рисунок 5. Траєкторія руху МТА

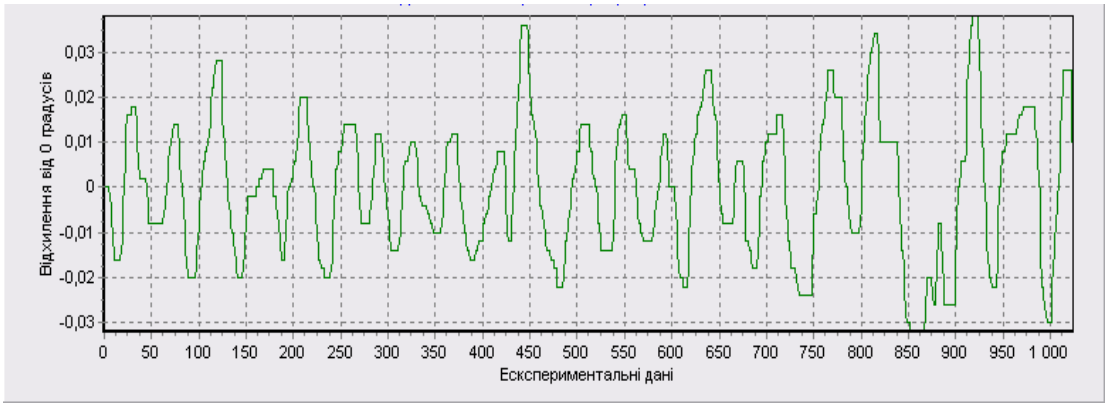


Рисунок 6. Динаміка повороту керма МТА

Також, окрім графіків, були отримані статистичні характеристики руху МТА у повздовжній площині за допомогою вбудованих в програму обчислюваних пакетів.

Було встановлено, що закономірності добротності керування машинно-тракторного агрегату залежно від швидкості його руху в цілому підкоряються закономірностям теорії руху колісної машини. Аналіз результатів імітаційного моделювання при використанні МТА, із традиційним рульовим механізмом та МТА в якому використане рульове керування з постійною чутливістю наведене в табл. 1.

Таблиця 1

Результати імітаційного моделювання

Швидкість руху МТА,м/с, (км/год)	Добротність, $с^{-1}$ / Середньоквадратичне відхилення, м							
	МТА з традиційним рульовим керуванням				МТА з адаптивним рульовим керуванням			
	1	2	3	Середнє арифме-тичне	1	2	3	Середнє арифме-тичне
1 (3,6)	150/0,016	148/0,014	149/0,015	149/0,015	161/0,009	158/0,010	159/0,011	159/0,010
2 (7,2)	85/0,034	81/0,033	86/0,038	84/0,035	123/0,016	124/0,017	128/0,015	125/0,016
3 (10,8)	64/0,070	62/0,074	63/0,069	63/0,071	122/0,021	125/0,023	122/0,019	123/0,021
4 (14,4)	49/0,088	51/0,104	53/0,096	51/0,096	119/0,023	121/0,025	122/0,024	121/0,024

На підставі експериментальних даних були побудовані графіки добротності руху МТА залежно від швидкості його руху, в лабораторних умовах (рис.7).

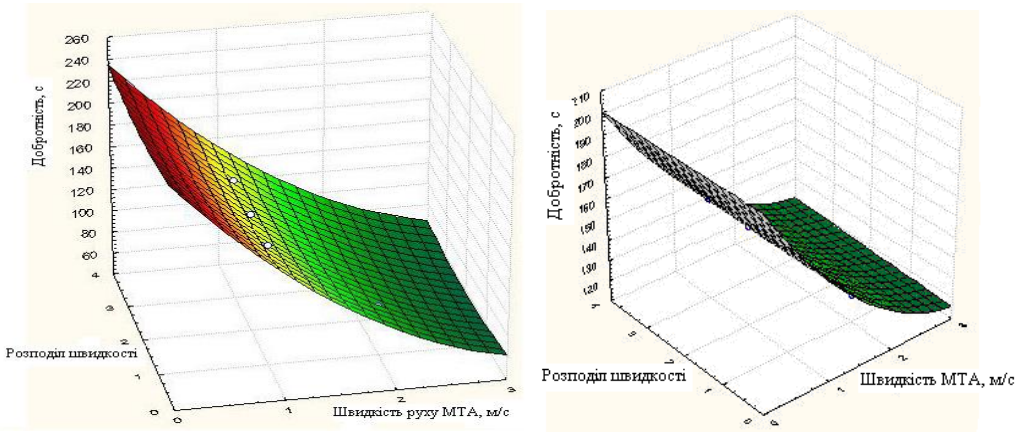


Рисунок 7. Добротність процесу руху МТА залежно від швидкості

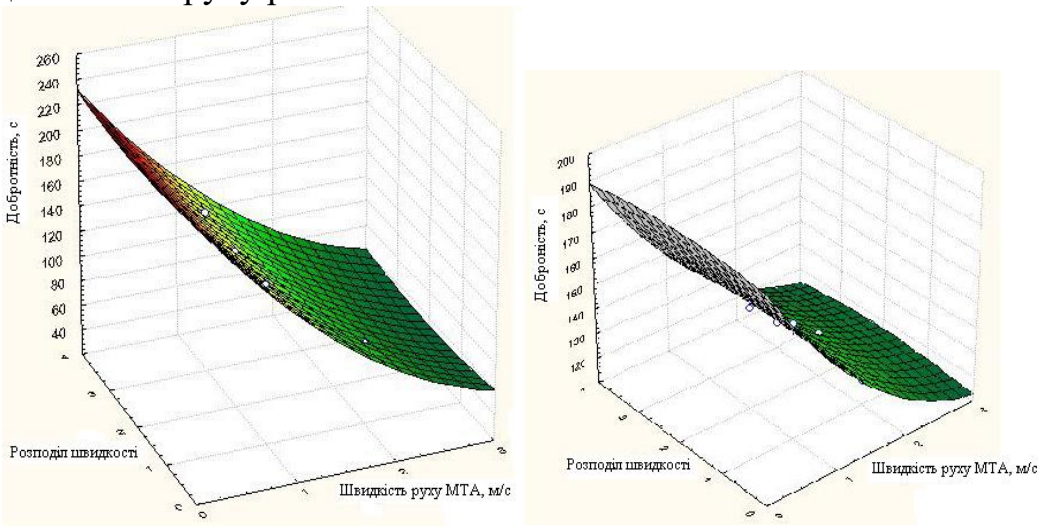
Для перевірки адекватності математичної моделі був проведений польовий експеримент, результати наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Результати польових досліджень

Швидкість руху МТА м/с , (км/год)	Добротність, $с^{-1}$/ Середньоквадратичне відхилення, м							
	МТА з традиційним рульовим керуванням				МТА з адаптивним рульовим керуванням			
	1	2	3	Середнє арифме-тичне	1	2	3	Середнє арифме-тичне
1 (3,6)	146/0,019	144/0,014	147/0,017	146/0,016	156/0,0125	151/0,012	155/0,01	154/0,011
2 (7,2)	84/0,039	79/0,033	81/0,035	82/0,036	120/0,019	128/0,017	121/0,018	123/0,018
3 (10,8)	61/0,081	57/0,071	56/0,068	58/0,073	122/0,025	118/0,023	121/0,025	120/0,024
4 (14,4)	45/0,093	49/0,111	50/0,105	48/0,103	116/0,026	120/0,026	117/0,026	118/0,026

У результаті аналізу даних, отриманих під час польового експерименту, були побудовані графіки добротності МТА залежно від швидкості його руху рис. 8.



а) традиційне рульове керування; б) адаптивне рульове керування

Рисунок 8. Добротність процесу руху МТА залежно від швидкості

Внаслідок проведених розрахунків встановлено, що залежності протікання процесу керування МТА є подібними. Ступінь спів- падіння даних, отриманих за допомогою імітаційного моделювання та даних, які отримані під час польового експерименту складає 92-98 %. Це свідчить про добру відтворюваність процесу керування МТА під час виконання сільськогосподарських технологічних операцій, а різниця у

відсотках присутня внаслідок того, що були прийняті деякі припущення.

Висновки.

1. Аналіз конструкцій рульових керувань колісних тракторів українського та зарубіжного виробництва показав, що в сільськогосподарських МТА передбачено або фіксоване значення передаточного числа рульового механізму, або воно змінюється в незначних межах. Встановлено, що найбільш суттєві фактори які впливають на керованість МТА є - швидкість руху, передаточне відношення рульового механізму, зовнішні збурюючи фактори, чутливість рульового керування, тип рульового керування, а також людський фактор.

2. Розроблено новий спосіб, конструктивна схема та спроектований експериментальний зразок адаптивного рульового керування, яке забезпечує змінення передаточного співвідношення в межах 2…19, залежно від швидкості руху МТА при виконанні технологічних операцій, при обробітку будь-яких просапних культур, які вирощуються в Україні.

3. Розроблена математична модель адаптивного рульового керування дає можливість за допомогою імітації збурюючих факторів, які впливають на прямолінійність руху МТА, кута його повороту та геометричних параметрів, а також швидкості руху, отримувати показники процесу, які забезпечують дотримання усіх агротехнічних вимог щодо підрізання культурних рослин та якості підгортання. Наприклад, при появі збурюючих факторів, які виникають при міжрядній обробці кукурудзи, основний показник процесу – відхилення від прямолінійності складає 10 см при досягненні МТА максимальної технологічної швидкості V_{max} = 4 м/с.

4. Розроблено програмне забезпечення, яке дає змогу оцінити якісні показники процесу керування різних типів рульових механізмів. За рахунок вбудованих у нього прикладних програм можливо одночасно проводити всі три етапи експерименту: введення даних, виконання віртуального заїзду, розрахунок результатів.

5. У результаті проведення польових експериментів були отримані дані, які підтверджують адекватність математичної моделі. При цьому різниця результатів не перевищує 8%, що свідчить про добру відтворюваність процесу керування МТА під час виконання будь-яких сільськогосподарських операцій.

Список використаних джерел

1. Boltianska N. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education*: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, 2021. P. 231-233.

2. Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивець Г. І. Дослідження адаптивної роботи рульового управління транспортного засобу в швидкісному режимі. *Сучасні наукові дослідження на шляху до Євроінтеграції:* матеріали міжнар. наук.-практ. форуму (21-22 червня 2019 р.): у 2-х ч. / ТДАТУ. Мелітополь, 2019. Ч. 1. С. 203-204.

3. Бондар А. М. Обґрунтування показників експлуатаційної надійності енергетичних засобів. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали ІІ Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 467-473.

4. Журавель Д. П., Бондар А. М. Несправності рульового керування та їх наслідки. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали ІІ Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 478-479.

5. Бондар А. М. Технологія ремонту рульових рейок. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали ІІ Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 537-538.

6. Данов Б. А. Электронные системы управления иностранных автомобилей. Москва: Телеком, 2002. 224 с.

7. Цизь І. Є., Тарасюк В. В. Ремонт сільськогосподарських машин: конспект лекцій. Луцьк: Луцький НТУ, 2014. 181 с.

8. Вахламов В. К. Автомобили. Конструкция и элементы расчета. Москва: Академия, 2006. 480 с.

9. Сідашенко О. І., Науменко О. А. Ремонт машин та обладнання: підручник. Київ: Агроосвіта, 2014. 665 с.

10. Черновол М. І., Власенко М. В., Наливайко В. М. Обладнання ремонтних підприємств. Київ: Урожай, 1996. 272 с.

11. Анализ и перспективы развития мехатронных систем управления торможением колеса / В. Г. Бутылин и др. *Мехатроника. Механика. Автоматика. Электроника. Информатика*. 2000. № 2. С. 33-38.

12. Buzzi B. F., Romero N. N., Martins D., de Souza Vieira R. Dimensional Synthesis of a Two-Axles Steering System. *Multibody Mechatronic Systems. MuSMe 2021. Mechanisms and Machine Science.* 2021. Vol. 94. P. 57-64. DOI: 10.1007/978-3-030-60372-4_7.

13. Design and Optimization of Static Characteristics for a Steering System in an ATV / L. Rajeshkumar et al. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* 2020. Vol. 954. 012009. DOI: 10.1088/1757-899X/954/1/012009.

14. Wang X.-C., Chen X., Ge Z.-J., Ma R. Position Control of Gas Rudder Steering Gear Based on Extended State Observer. *Tuijin Jishu/Journal of Propulsion Technology*. 2020. Vol. 1, № 10. P. 2341-2347.

15. Xu B., Miao J. Design and Mechanical Characteristics of External Prestressed Reinforcement. Wuhan Ligong Daxue Xuebao (Jiaotong Kexue Yu Gongcheng Ban). *Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science and Engineering)*. 2020. Vol. 44, № 5. P. 881-885, 891.

16. Design of Automatic Steering System Based on Direct Connection of DC Motor and Full Hydraulic Steering Gear / Y. Yang et al. *Nongye Jixie Xuebao/Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*. 2020. Vol. 51, № 8. P. 44-54, 61.

17. Bhalerao S., Paramane A., Chavan A. Design and Development of Steering System for Formula-Styled Vehicle. *Reliability and Risk Assessment in Engineering. Lecture Notes in Mechanical Engineering.* P. 275-283. DOI: 10.1007/978-981-15-3746-2_25.

18. Tuan N. X., Dinh H. T., Van Bang N. Research on Dynamic Modelling for Hydraulic Power Automotive Steering Systems with Nonlinear Friction. *Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2019. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2020. Vol. 104. P. 620-627. DOI: 10.1007/978-3-030-37497-6_71.

19. Muenster M., Lehner M., Rixen D. Requirement derivation of vehicle steering using mechanical four-poles. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2019. Vol. 133. 106231. DOI: 10.1016/j.ymssp.2019.07.012.

20. Lee B. Development of hybrid power steering system for commercial vehicle. *SAE Technical Papers 2019-01-1415, 2019.* DOI: 10.4271/2019-01-1415.

Стаття надійшла до редакції 1.12.2021 р.

D. Zhuravel, A. Bondar, H. Dashyvets, V. Panina
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

JUSTIFICATION OF HIGH-SPEED PARAMETERS OF MACHINE-TRACTOR UNIT OPERATION

Summary

The article analyzes the state and perspective directions of development of steering wheel tractors and determines the factors that affect the control process of the machine-tractor unit (MTA) during the transport mode and when performing technological operations. The most common agricultural operations requiring increased accuracy are considered. Particular attention is paid to inter-row cultivation of row crops, as they require increased precision. On the example, of the second inter-row processing of corn. A new method of vehicle control has been developed, which ensures the adaptability of the steering gear ratio depending on the speed of movement. A kinematic diagram of the MTA movement along the baseline has been developed, which made it possible to develop a mathematical model of vehicle movement, both with traditional and adaptive

steering. A mathematical model of the MTA movement in the longitudinal plane with a new method of steering has been investigated. Comparative tests of the stability of the movement of the MTA in virtual mode and field tests were carried out. The study in virtual mode was carried out using a computer and the corresponding programs built into it. At the same time, the program allows obtaining data with a time quantization of 0.05 s, which is significantly less than the operator's response time to external disturbances. Virtual and field tests of the MTA were carried out at different speed modes - the change occurred from 1 m / s to 3.6 m / s when performing the second inter-row corn cultivation. The results obtained confirmed the effectiveness of the use of adaptive steering at high speed modes in accordance with agro technical requirements. The results obtained confirm the effectiveness of the use of adaptive steering at high speed modes.

Key words: steering, maneuverability, trajectory of movement, baseline, inter-row processing, agro technical requirements.

Д. П. Журавель, А. Н. Бондарь, Г. И. Дашивец, В. В. Панина
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ОБОСНОВАНИЕ СКОРОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Аннотация

В статье исследовано движение машинно-тракторного агрегата (МТА) при выполнении технологических операций и влияние возмущающих факторов, влияющих на параметры его движения. Рассмотрены наиболее распространенные сельскохозяйственные операции, требующие повышенной точности выполнения. Разработана схема движения МТА вдоль базовой линии, позволяющая разработать математическую модель движения транспортного средства с традиционным и адаптивным рулевым управлением. Произведены расчеты движения МТА в виртуальном режиме: с использованием ЭВМ и полевые испытания. Испытания МТА проводились на разных скоростных режимах (изменение происходило от 1м/с до 3,6 м/с) при выполнении второй междурядной обработки кукурузы. Полученные результаты подтверждают эффективность использования адаптивного рулевого управления на повышенных скоростных режимах.

Ключевые слова: рулевое управление, маневренность, траектория движения, базовая линия, междурядная обработка, агротехнические требования.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-17

УДК 637.134.001.5

Н. І. Болтянська[1], к.т.н. ORCID: 0000-0002-7887-4715
О. В. Болтянський[1], к.т.н. ORCID: 0000-0002-9543-5538
О. М. Орел[1], к.т.н. ORCID: 0000-0002-6436-2305
Т. А. Непарко[2], к.т.н. ORCID: 0000-0002-2860-4602
[1]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
[2]*Білоруський державний аграрний технічний університет*
e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА НА РОБОТУ ГОМОГЕНІЗАТОРІВ

Анотація. У статті зазначено, що в більшості випадків довговічність обладнання переробних і харчових виробництв пов’язана з проблемою спрацювання окремих деталей та вузлів. Тому підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя є основним напрямком підвищення надійності і довговічності обладнання. У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які є між собою в дуже складних кореляційних залежностях. Встановлено, що знос обладнання харчової промисловості, підкоряючись в більшості випадків загальним закономірностям, встановленим для контакту твердих тіл, має свою специфіку, яка полягає в тому, що робочі органи зношуються не внаслідок контакту з іншими деталями, а в результаті взаємодії з продуктами переробки. Визначено, що гомогенізатори молочних продуктів працюють в умовах середнього і сильного ступеня агресивного впливу технологічного середовища. Дослідження показують низьку експлуатаційну надійність клапанного механізму і плунжерів високого тиску гомогенізаторів.

Ключові слова: молочна промисловість, механічна обробка молока, гомогенізатор, знос, технологічне середовище.

Постановка проблеми. Гомогенізатори широко застосовуються в молочної промисловості для механічної обробки молока і молочних продуктів з метою поліпшення їх консистенції. В процесі гомогенізації молока відбувається дроблення жирових кульок і рівномірне їх розподіл по всьому об'єму продукту, що спільно з тепловою обробкою дозволяє збільшити термін його зберігання без зміни якості [1-4].

© Н. І. Болтянська, О. В. Болтянський, О. М. Орел, Т. А. Непарко

Запобігання швидкого відстоювання жиру в результаті гомогенізації особливо важливо при виробництві питного молока на лініях високотемпературної обробки, при виробленні кисломолочних напоїв резервуарним способом, виробництві молочних консервів і морозива, де потрібно зберегти досягнуту мелкодисперсную жирову фазу. Для гомогенізації можна використовувати різні відцентрові установки, ультразвукові та інші пристрої, але за ефективностю впливу на продукт без значних небажаних змін властивостей ці установки поступаються застосовуваним у вітчизняній і зарубіжній молочній промисловості клапанним гомогенізаторів з використанням високого тиску [5-9].

Подальше впровадження та розширення області застосування гомогенізації, оснащення підприємств високопродуктивними установками для комплексної обробки молока висувають завдання по створенню гомогенізаторів з високими технологічними та експлуатаційними показниками. Проводиться велика робота по створенню машин сучасних моделей для молочних продуктів різних вязкостей з уніфікованими вузлами і деталями, а, також з підвищеними експлуатаційними показниками [10-13]. З розвитком техніки питання підвищення довговічності й надійності машин набувають все більшого значення. Вивченням причин руйнування деталей в експлуатації та розроблення методів підвищення довговічності машин займаються вчені і спеціалісти багатьох промислово розвинених країн світу. Зменшення матеріало- та енергомісткості об’єктів виробництва і промислового виробництва в цілому, підвищення рівня автоматизації промисловості й сільського господарства, збільшення потужності і швидкохідності машин, необхідність роботи механізмів і приладів в різних газових і рідинних середовищах за низьких і високих температур висувають, в наш час, ряд додаткових вимог із підвищення надійності й довговічності технологічного обладнання, приладів та інших технічних систем. У результаті підвищення довговічності деталей машин скорочуються витрати запасних частин і матеріалів на їх виготовлення, зменшується кількість працюючих і трудомісткість при експлуатації, технічному обслуговуванні та ремонті. Збільшення терміну служби машин рівноцінне збільшенню їх випуску на тих же виробничих площадках [14-16]. Вирішуючи завдання підвищення надійності і довговічності машин, ми тим самим збільшуємо виробничі потужності машинобудівних підприємств. У більшості випадків довговічність обладнання переробних і харчових виробництв пов’язана з проблемою спрацювання окремих деталей та вузлів. Тому підвищення зносостійкості деталей вузлів тертя є основним напрямком підвищення надійності і довговічності обладнання [17-19].

Аналіз останніх досліджень. У загальній проблемі надійності, точності і довговічності машин, механізмів і приладів основне місце належить питанням тертя, зношуванню поверхонь деталей і робочих органів, які є між собою в дуже складних кореляційних залежностях.

На відміну від інших галузей, робота обладнання переробних і харчових виробництв характеризується безпосереднім контактом поверхонь деталей з сировиною, напівпродуктами та продуктами, які можуть знаходитись у різному стані. Тому, в першу чергу, властивості технологічних середовищ та їх взаємодія з поверхневими шарами деталей визначають характер і особливості зношування обладнання. Технологічні середовища переробних виробництв вирізняються значною хімічною і поверхневою активністю, справляють значний вплив на визначальний вид зношування і його інтенсивність [20-23].

Значний вклад у розвиток сучасної світової науки про тертя і зношування в машинах внесла українська школа, яку створив професор Борис Іванович Костецький, який тривалий час її очолював. Відомими й визнаними представниками цієї школи є професори Л.І. Бершадський, І.Г. Носовський, П.В. Назаренко, Г.А. Прейс та інші. Б.І. Костецький і його учні зробили цілий ряд фундаментальних відкриттів у проблемі тертя, які значно розширили уяву про явища, що відбуваються на поверхні контакту двох тіл. Процеси тертя і зношування є складними і залежать від ряду факторів, для розуміння яких необхідний синтез знань в областях механіки, теоретичної фізики, фізичної хімії, термодинаміки, металознавства, фізики твердого тіла та ін. У зв’язку з цим нині існують різні уявлення про явища, що відбуваються на поверхні контакту твердих тіл при терті [24–27].

Формулювання цілей статті. Дослідити ступінь впливу технологічного середовища на роботу гомогенізаторів. Визначити специфіку зносу обладнання харчової промисловості. Проаналізувати класифікацію ступеня агресивності технологічних середовищ молочної промисловості та визначити характер зносу всмоктувальних і нагнітальних клапанів гомогенізатора молочних продуктів.

Основна частина. За причинами, що супроводжують руйнування поверхневих шарів деталей обладнання переробних і харчових виробництв, розрізняють такі основні види зношування: механічне, що відбувається внаслідок механічних дій, та корозійно-механічне, яке спричиняється механічною дією, що супроводжується хімічною взаємодією матеріалу деталі і технологічного середовища. Вивченням технологічних середовищ і ступеня їх впливу на деталі машин і обладнання переробних галузей АПК займалися багато вчених, серед яких А. Новицький, М. Дмитриченко, А.Тенел, Г. Кірюткін [28,29]

Встановлено, що знос обладнання харчової промисловості, підкоряючись в більшості випадків загальним закономірностям,

встановленим для контакту твердих тіл, має свою специфіку, яка полягає в тому, що робочі органи зношуються не внаслідок контакту з іншими деталями, а в результаті взаємодії з продуктами переробки [28,30]. Рідкі середовища молочної промисловості ці дослідники умовно поділяють на органічні та неорганічні. До органічних можна віднести характерні для молочних продуктів сполуки. У табл. 1 наведені складові частини молока.

Таблиця 1

Складові частини молока та їх орієнтовний склад [22-24].

Складові частини	Наявність в 1л молока
1	2
Вода, г	860...880
В емульгованому стані	
Молочний жир (як суміш тригліцеридів), г	30.. .45
Фосфатиди (лецитин, кефалин, сфінгоміелін), г	0,3
Стерини (холестерин, ланостерин, дегідрохолестірін), г	7…0,1
Гліцериди (дигліцериди, моногліцериди), г	0,15...0,22
Жиророзчинні вітаміни:	
вітамін А, мг	0,1...0,5
провітамін А (каротин), мг	0,1...0,6
вітамін Д, мкг	0,4
вітамін Е, мг	1,0
вільні жирні кислоти, мекв	0,8...1,85
В колоїдній діперсії:	
казеїни, г	28...32
D_{S1}казеін	10,3
b-казеїн	9,1
х-казеїн	3,9
Альбуміни, г:	
α-лактальбумин	1,3
серумальбумін (сироватковий альбумін) лактоглобулин А	0,4
лактоглобулин В	3,5
Глобуліни, г:	
евглобулін	0,3
псевдоглобулін	0,3
білок жирових кульок	0,2
Ферменти (каталаза, пероксидаза, ксантиноксидаза, фосфатази-кисла і лужна, альдолаза, амілази (α і β), ліпази-мембранна і плазмова, протеази, карбогідраз) присутні в істинному розчині	47...48
Вуглеводи, г	17,7...18
α-гідратна лактоза, г	29,3...30

Продовження таблиці 1

1	2
глюкоза, мг галактоза, мг інші цукри	50 20 сліди
Катіони, г: кальцій Са++ магній Mg++ натрій Na+ калій К+	 1,25 0,10 0,50 1,50
Аніони, г: дигідрофосфат $H_2P0_4^-$ гідрофосфат $HP0^-$ фосфат $P0^-$ цитрати (у вигляді лимонної кислоти) хлорид Cl^- гідрокарбонат $HC0_3^-$ сульфат 0_4^-	 2,10 2,00 1,00 0,20 0,10
Водорозчинні вітаміни: тіамін В1, мг рібофлавін В2, мг нікотинова кислота /ніацін/ РР, мг цианкобаламін В12, мкг піридоксин В6, мг пантотенова кислота, мкг фолієва кислота, мкг біотин Н, мкг інозит, мг аскорбінова кислота С, мг	 0,4 1,5 0,2...1,2 7 0,7 3,0 1 50 180 20
З'єднання залишкового азоту (в перерахунку на азот), мг: аміак амінокислоти сечовина креатин і креатинін метілгуанідін гуанін	 250 2-12 3,5 100 15 –
Гіпурова кислота Індикан Сечова кислота	50...100 30...60 0,3...2,0
Гази, мг: вуглекислый газ, CO_2 кисень 0_2 азот N	 100 7,5 15,0

Продовження таблиці 1

1	2
Мікроелементи Pb, Li, Ba, Sp, Mn, A1, Zn, B, Си, Ре, Со, J, Mo, Pb, Or, Ag, Sn, Ti, V, P, Si, Br, Se	містяться постійно
Нейрамінова кислота, мг	120

Також до органічних середовищ належать органічні миючі засоби (натрієві і калієві солі, мило). До неорганічних – неорганічні миючі рідкі фосфати, луги, кальцинована сода і очищаючі (азотна, сірчана, фосфатна кислота), засоби для санітарного обробітку обладнання.

У технологічному процесі переробки молока технологічні середовища можна розділити таким чином: продукти, що переробляються (молоко, молочні продукти), водні розчини: розсоли, холодна і гаряча вода, пар; неорганічні і органічні миючі та очищувальні засоби для санітарної обробки обладнання.

Ступінь агресивного впливу технологічного середовища можна умовно розділити на три види слабку, середню, сильну [29] (табл. 2). Разом з цим пропонується враховувати зміну агресивності технологічного середовища в залежності від мікроклімату приміщення, де вони застосовуються.

Таблиця 2

Класифікація ступеня агресивності технологічних середовищ молочної промисловості

Ступінь агресивності	Цехи і відділення молокопереробних підприємств	Мікроклімат в цеху (віділенні)		Технологичні середовища	Водневий показник, pH
		Вологість,%	Температура, °С		
Слабка	Приймальний, зберігання молока та молочних продуктів, мийний	80	20	Мийні розчини, зливні води	6,6...7
Середня	Апаратний, розливно-укупорочний, посолки сирів	80		Пастеризоване молоко кисломолочні продукти, мийні розчини	5...6,5
Сильна	Маслоробний, сметанний, сирково-сирний, пресовий	95	40	Молоко, промивні і мийні, стічні води, сироватка	3,2...4,6

Таким чином, виходячи з даної класифікації, гомогенізатори молочних продуктів працюють в умовах середнього і сильного ступеня агресивного впливу технологічного середовища.

За своєю природою багато компонентів молочних продуктів і миючих розчинів є поверхнево-активними речовинами, які, як відомо, інтенсифікують процеси пластичного деформування і зношування металів. Дослідження показують низьку експлуатаційну надійність клапанного механізму і плунжерів високого тиску гомогенізаторів. Ці складальні одиниці і деталі забезпечують дроблення і рівномірний розподіл в молочному продукті жирових кульок.

Всмоктувальні і нагнітальні клапани однакові і мають складну форму з поверхнями. Кожна з цих поверхонь має свої особливості зношування. Напрямна зношується від матеріалу, що переміщається по ній, тому на поверхні формуються раковини. Створювані раковини в пазах напрямних орієнтовані вздовж напрямку переміщення продукту і можуть бути віднесені до хіміко-механічного зношування, яке відповідає окислювальному зношуванню, що протікає при високому тиску і наявності поверхнево-активних речовин. Більш того, процеси пластичного деформування настільки руйнівні, що призводять до відшарування матеріалу. Останнє обумовлює порушення режиму гомогенізації. Найбільший знос поверхні плунжера по діаметру виявляється в крайніх точках робочого ходу, тобто там, де плунжер зупиняється і змінює напрямок руху. Слід також відзначити те, що плунжера працюють при гарантованому зазорі з плунжерним блоком і контактують тільки з ущільненням, твердість якого значно нижче матеріалу плунжера. При цьому зовнішній вигляд характеру зносу поверхні плунжера при макроаналізі носить виражений абразивний характер. Питання відновлення деталей АПК, в цілому, знаходить рішення, на сьогоднішній день розроблено досить методик і засобів для ремонту широкої номенклатури деталей, в той час як для переробної галузі дане питання залишається дозволеним. Існує ряд причин такого стану справ: недолік науково обгрунтованих рекомендацій застосування способів відновлення деталей переробної галузі; недолік або відсутність підприємств, що займаються ремонтом і технічним обслуговуванням устаткування даної галузі; відсутність ремонтно-технічної документації для відновлення швидкозношуваних деталей галузі; невивченість причин і механізмів зносу деталей; недослідженість фізико-хімічних властивості матеріалу.

Висновки. Встановлено, що знос обладнання харчової промисловості має свою специфіку, яка полягає в тому, що робочі органи зношуються не внаслідок контакту з іншими деталями, а в результаті взаємодії з продуктами переробки. Визначено, що гомогенізатори молочних продуктів працюють в умовах середнього і

сильного ступеня агресивного впливу технологічного середовища. Дослідження показують низьку експлуатаційну надійність клапанного механізму і плунжерів високого тиску гомогенізаторів.

Список використаних джерел

1. Boltianskyi B., Sklyar R., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. Processes 2021, 9(7), 1144; https://doi.org/10.3390/pr9071144

2. Komar A. S. Fertilization of poultry manure by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production:* Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference. 2019. Pp. 18–20.

3. Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learnin:* Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. *Bordeaux*. 2020. Pp. 478-480.

4. Маніта І.Ю. Питання цифровізації сільського господарства в Україні. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 346-350. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/manita-2020.pdf

5. Skliar R. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Bilbao. 2020. Pp. 431-433.

6. Шокарев О.М. Напрями автоматизації технологічних процесів в АПК. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 626-632. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/boltjanska-1-2020.pdf

7. Podashevskaya H., Sklar R. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.

8. Serebryakova N. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.

9. Podashevskaya H., Manita I. Application of nanotechnology intechnologicalprocesses of animal husbandry in Ukraine. *Інженерія природокористування*. Харків: ХНУСГ, 2020. №2(16). С. 33 – 37.

10. Serebryakova N. Selection of optimalmodes of heattreatmentof grain. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 20-24.

11. Manita I. Areas of application of nanotechnologies in animal husbandry. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали. II Міжнар. наук.-практ. конф.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 357-361. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/podashevskaya-2020.pdf

12. Скляр Р.В., Скляр О.Г., Комар А. С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020.Т.1. С. 118-121.

13. Болтянська Н. І., Маніта І. Ю. Інноваційний розвиток техніки для молочного скотарства. *Науковий вісник ТДАТУ.* Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 2. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/naukovyj-visnyk-tdatu-2020-vypusk-10-tom-2.pdf

14. Uskenov R.B. The need to improve the feeding parameters of cattle. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі:* матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 184-184. URL: http://www.tsatu.edu.ua/tstt/wp-content/uploads/sites/6/uskenov-2020.pdf

15. Boltianska N., Manita I., Komar A. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Інженерія природокористування.* Харків: ХНУСГ, 2021. №5(19). С. 38 – 42.

16. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome. 2021. Pp. 171-176.

17. Boltyansky O. V. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa.* 2016. Vol. 18, No 13. P. 49-54.

18. Скляр О.Г., Скляр Р.В, Маніта І. Ю. Механізація доїння і первинної обробки молока: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2021. 401 с.

19. Demyanenko D., Skliar O. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Springer Nature Switzerland AG*. 2019. P. 249-258.

20. Скляр Р. В. Машини, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р.В. Скляр, О.Г. Скляр, Б.В. Болтянський. К.: Видавничий дім «Кондор», 2019. 608 с.

21. Boltianska N.I., Boltianskyi O.V., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. C. 27-29.

22. Sklar O. G. Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Melitopol : Color Print. 2012. 720 p.

23. Boltyanskaya N.I. Indicators of an estimation of efficiency of application of resourcesbutGauci technologies in animal husbandry. *Bulletin of Sumy national agrarian University. A series of "Mechanization and automation of production processes"*. Amount. 2016. Vol. 10/3 (31). 118-121.

24. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings"*. 2017. P. 155-158

25. Boltyanskaya N.I. Justification of choice of heating system for pigsty. *Teka Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*. 2018. Vol. 18. No 1. P. 57–62

26. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. Coll. scientific-works of Intern. *Research Practice Conf. "Topical issues of development of agrarian science in Ukraine"*. Nizhin, 2019. Pp. 84–91.

27. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: Підручник для здобувачів вищої освіти закладів вищої освіти / Б.В. Болтянський, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

28. Zhuravel D., Boltianska N. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education:* Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. Pp. 231-233.

29. Skliar R., Sklar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *// Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference.* Rome, Italy 2021. Pp. 171-176.

30. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.

Стаття надійшла до редакції 8.11.2021р.

N. Boltianska[1], O. Boltianskyi[1], O. Orel[1], T. Neparko[2]
[1]Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University
[2]Belarusian State Agrarian Technical University

RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE TECHNOLOGICAL ENVIRONMENT ON THE WORK OF HOMOGENIZERS

Summary

The article indicates that in most cases the durability of equipment for processing and food industries is associated with the problem of wear of individual parts and assemblies. Therefore, increasing the wear resistance of parts of friction units is the main direction of increasing the reliability and durability of equipment. In the general problem of reliability, accuracy and durability of machines, mechanisms and devices, the main place belongs to the issues of friction, wear of the surfaces of parts and working bodies,

which are among themselves in very complex correlations.

It has been established that the wear of food industry equipment, obeying in most cases the general laws established for the contact of solids, has its own specificity, which consists in the fact that the working bodies wear out not due to contact with other parts, but as a result of interaction with processed products. It has been determined that homogenizers of dairy products operate under conditions of medium and strong aggressive action of the technological environment. Research shows low operational reliability of the valve train and high pressure plungers of homogenizers.

Suction and discharge valves are the same and have a complex shape with surfaces. Each of these surfaces has its own wear characteristics. The guide wears out from the material that moves along it, so shells form on the surface.The cavities created in the grooves of the guides are oriented along the direction of movement of the product and can be attributed to chemical-mechanical wear, which corresponds to oxidative wear that occurs at high pressure and the presence of surfactants. The greatest wear of the plunger surface in diameter is at the extreme points of the working stroke, that is, where the plunger stops and changes the direction of movement. It should also be noted that the plungers operate with a guaranteed clearance with the plunger block and contact only with the seal, the hardness of which is significantly lower than the plunger material. In this case, the appearance of the nature of the wear of the plunger surface during macroanalysis has a pronounced abrasive nature.

Key words: dairy industry, mechanical milk processing, homogenizer, wear, process medium

Н. И. Болтянская [1], О.В. Болтянський [1], А.Н. Орел [1], Т. А. Непарко [2]
[1]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного
[2]Белорусский государственный аграрный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО СРЕДЫ НА РАБОТУ ГОМОГЕНИЗАТОРОВ

Аннотация

В статье указано, что в большинстве случаев долговечность оборудования перерабатывающих и пищевых производств связана с проблемой износа отдельных деталей и узлов. Поэтому повышение износостойкости деталей узлов трения является основным направлением повышения надежности и долговечности оборудования. В общей проблеме надежности, точности и долговечности машин, механизмов и приборов основное место принадлежит вопросам трения, износу поверхностей деталей и рабочих органов, которые находятся между собой в очень сложных корреляционных зависимостях. Установлено, что износ оборудования пищевой промышленности, подчиняясь в большинстве случаев общим закономерностям, установленным для контакта твердых тел, имеет свою специфику, которая заключается в том, что рабочие органы изнашиваются не вследствие контакта с другими деталями, а в результате взаимодействия с продуктами переработки. Определено, что гомогенизаторы молочных продуктов работают в условиях средней и сильной степени агрессивного воздействия технологической среды. Исследования показывают низкую эксплуатационную надежность клапанного механизма и плунжеров высокого давления гомогенизаторов.

Ключевые слова: молочная промышленность, механическая обработка молока, гомогенизатор, износ, технологическая среда.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-18

УДК 631.311.5

В. В. Дідур[1], к.т.н. ORCID: 0000-0001-7584-5073
Т. О. Кутковецька[1], к.е.н., ORCID: 0000-0002-4879-2954
О. В. В'юник[2], інж., ORCID: 0000-0002-6413-5567
В. В. Паніна[2], к.т.н., ORCID: 0000-0001-9623-516X
[1]*Уманський національний університет садівництва*
[2]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
e-mail: didur.vv@gmail.com, тел: 098-574-96-53

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ МЕЛІОРАТИВНИХ МАШИН

Анотація. В статті вказано види меліоративних робіт, які машини застосовуються для проведення меліоративно-будівельних робіт, надано основні ознаки, що визначають меліоративну машину. Описано алгоритм процесу вибору оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів. Надано варіанти організації виконання непланових ремонтів машин під час виконання меліоративних робіт.

Встановлено, що оптимальна забезпеченість ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів дозволяє знизити на 50-90% частку витрат від простоїв агрегатів з технічних причин та на 25-60% питомі експлуатаційні витрати.

На підставі досліджень розроблено рекомендації щодо визначення оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів та організації виконання непланових ремонтів спеціалізованими службами, у тому числі дилерами заводів-виробників

Ключові слова: меліорація, експлуатація, ефективність, ремонтно-технічний вплив.

Постановка проблеми. Завдання ефективної експлуатації технічних засобів є дуже актуальними, у тому числі й у водогосподарському комплексі України, внаслідок досить високого рівня комплексної механізації основних видів робіт. Так, у меліоративному будівництві задіяно понад 600 марок машин і механізмів, при цьому на частку земляних робіт припадає 60-90% вартості меліоративного будівництва в цілому.

© В. В. Дідур, Т. О. Кутковецька, О. В. В'юник, В. В. Паніна

Аналіз даних з експлуатації технічних засобів у меліоративно-будівельних організаціях показує, що через низьку надійність машин до 40% у собівартості їх робіт становлять витрати на технічне обслуговування та ремонт, при цьому частка витрат тимчасових ресурсів на простої з технічних причин у загальному фонді часу робітника сягає 40…50%. Це лише частина шкоди, заподіяної внаслідок недостатньої надійності машин. В наш час внаслідок широкого поширення комплексної механізації в меліоративному будівництві особливо гостро постає питання ефективного використання машин у складі технологічного комплексу. У зв'язку з цим проблема експлуатації технологічних комплексів машин і визначення їх оптимального складу при виконанні меліоративних робіт, з прогнозуванням їх ефективності, з урахуванням фактичних показників надійності, є дуже актуальними.

Аналіз останніх досліджень. Результати досліджень загальних питань теорії експлуатації машин та, зокрема, проблем експлуатаційної надійності та забезпечення працездатності обладнання складних технічних систем наведено у роботах В. В. Бикова, Л. І. Кушнарьова [1, 2]. Наукові роботи В. О. Зенченко, Г. Ф. Фастовцева присвячені технологічному забезпеченню процесів обслуговування та ремонту на підприємствах автосервісу. [3]. Питанням впливу терміну служби машин на їх експлуатацію під час виконання меліоративних робіт присвячено О. С. Апатенко [4].

Виходячи з ситуації, що склалася, на наш погляд, необхідно приділити увагу розвитку виробничо-технічної бази, що забезпечує працездатність і справність меліоративної та будівельної техніки. Одним із таких рішень є оптимізація засобів ремонтно-технічних впливів, оптимальна кількість яких знизить втрати на простої техніки і підвищить коефіцієнт готовності парку машин, що необхідно для підтримки готовності меліоративно-будівельної техніки у справному стані

Формулювання мети статті. Метою даної роботи є встановлення причин простоїв базових і агрегатованих машин і надання рекомендацій щодо організації усунення їх наслідків.

Основна частина. Меліорація – це система організаційно-господарських, технічних, агротехнічних та інших заходів, спрямованих на докорінне поліпшення земель. Вона підвищує родючість ґрунту, покращує його водний, повітряний, тепловий та сольовий режими, регулює мікроклімат у приземному шарі атмосфери, створює сприятливі умови для росту і розвитку рослин та отримання високих урожаїв [5].

Розрізняють такі види меліорацій: сільськогосподарські (забезпечують підвищення продуктивності сільськогосподарських

угідь та їх розширення за рахунок освоєння боліт, заболочених земель, сухих степів та пустель), лісові (поліпшення умов для росту дерев та використання лісів), санітарні (боротьба з малярією, оздоровлення територій), зоомеліорація та ін. Основна з усіх видів меліорації є гідротехнічна, або гідромеліорація. Вона спрямована на регулювання водного режиму ґрунтів за допомогою осушення, зрошення та обводнення. Тому розрізняють зрошувальну, осушувальну та обводнювальну меліорацію. Зрошення - це штучне зволоження ґрунту для отримання високих та стійких урожаїв сільськогосподарських культур. Для подачі води на поля будують зрошувальні системи. Види зрошення земель. Зрошення ділять на: зволожувальне, удобрювальне та спеціальне. Зволожуюче зрошення створює в ґрунті необхідний водний та повітряний режими. Поділяють регулярне та одноразове зволожувальне зрошення. При регулярно діючому зрошенні ґрунт зволожується в потрібні терміни та в потрібній кількості протягом усього вегетаційного періоду. При надходженні води до зрошувальної мережі з джерела зрошення самопливом зрошення називається самопливним; при машинному підйомі води з джерела зрошення в зрошувальну мережу (насосами та ін.) – машинним [6].

Для виконання меліоративних робіт застосовують як спеціальні (меліоративні), так і загальнобудівельні, дорожні та сільськогосподарські машини. До спеціальних відносяться машини для видалення чагарника, дрібнолісся, пнів, каміння, будівництва каналів і дренажних систем, планування, первинної обробки ґрунту, поливу та ін. Меліоративні машини відрізняються великою різноманітністю конструкцій, робочих органів, технологічних процесів, профілів і типорозмірів меліоративних споруд. Тому першою ознакою класифікації є призначення машини. За цією ознакою всі машини можна поділити на сім основних груп. Машини деяких груп поділяються на підгрупи за ознакою спільності процесів, що здійснюються при виконанні робіт, основним призначенням або переважному застосуванню. Основні ознаки, що визначають меліоративну машину: вузька спеціалізація робочих органів для виконання одного технологічного процесу з декількох операцій або окремих операцій у меліорації; тісний зв'язок форми і розташування робочого органу з виглядом і профілем меліоративної споруди, що розробляється; можливість зміни профілю споруди шляхом зміни становища робочого органу; використання, як правило, лише на меліоративних роботах (або аналогічних їм); в більшості випадків - однопрохідність; отримання за один прохід завершеної споруди або процесу, здебільшого безперервність дії. Загальнобудівельні машини, що застосовуються у меліорації, характеризуються такими ознаками: універсальністю робочих органів у межах видів робіт; застосуванням

на всіх видах будівельних робіт та багатьох операціях меліоративних робіт різних видів; відсутністю зв'язку між формою робочого органу та профілем меліоративної споруди; як правило – багатопрохідністю; в більшості випадків – циклічність дії; незавершеністю робочого процесу та потребою в доопрацюванні. Різниця між меліоративними та будівельними

Комплексна механізація меліоративних робіт має бути заснована на оптимальному поєднанні використання будівельних та меліоративних машин. В основу такої оптимізації, природно, має бути покладено принцип забезпечення найбільшої продуктивності за якості, мінімальної трудомісткості та вартості робіт.

На підставі проведених досліджень розроблено рекомендації щодо визначення оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати технологічних комплексів. У її основі лежить імітація складних процесів на ЕОМ. Алгоритм математичної моделі, записаний машинною мовою, дозволяє за заданих початкових умов і чисельних значеннях параметрів системи оцінити з урахуванням ймовірнісних факторів характеристики системи, передбачені програмою дослідження.

Алгоритм процесу вибору оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів включає блок введення та присвоєння вихідних даних, блоки визначення інтенсивності ремонтно-технічного впливу на базові машини, на агрегатовані машини, на агрегати, блоки визначення коефіцієнта використання для базових машин і для агрегатованих машин, для агрегатів. Алгоритм містить дві логічні схеми умовного переходу кожного з аналізованих варіантів, для базових машин і агрегатованих машин, для агрегатів. Імовірнісні показники системи розраховуються в блоках для базових машин, для машин, що агрегатуються, для агрегатів.

У відповідних блоках визначається імовірнісна структура для базових, агрегатованих машин та агрегатів технологічних комплексів відповідно. Значення основного критерію оптимальності розраховується у відповідних блоках для базових машин, агрегатованих машин та агрегатів технологічних комплексів. Алгоритм передбачає отримання значення шуканого параметра з усіх варіантів поєднання вихідних даних. Потрібні параметри виводяться на друк за всіма варіантами. Дослідження отриманих значень за різними альтернативними варіантами дозволяє визначити оптимальну кількість ремонтно-технічних впливів для кількості агрегатів культуртехнічних комплексів, що розглядається, з урахуванням показників надійності базових і агрегатованих машин.

З аналізу отриманих результатів надається можливість оптимізувати систему ремонтно-технічного впливу для агрегатів культуртехнічних комплексів, що забезпечує усунення наслідків технічних відмов та зниження експлуатаційних витрат.

Витрати на експлуатацію меліоративних машин складаються з прямих експлуатаційних витрат на виконання річного комплексу механізованих робіт та додаткових витрат меліоративного виробництва, пов'язаних із неплановими (аварійними) простоями з технічних причин.

Величина витрат на усунення відмов машин залежить від варіанту усунення та групи складності відмов (наприклад: відмови усуваються на місці роботи машини силами машиніста; в центральній ремонтній майстерні; на місці роботи машини силами мобільних постів ремонтно-технічного обслуговування тощо.) та розраховується відповідно.

У реальних умовах експлуатації агрегатів, втрати від простоїв машин значно збільшуються, тому що вихід з працездатного стану однієї машини тягне до зупинки всього технологічного ланцюжка комплексу.

Визначення оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів у тому, що її елементам необхідно надати таке кількісне співвідношення, щоб у конкретних умовах забезпечувалося виконання планованих обсягів робіт при мінімумі фінансових і трудових витрат.

Інтенсивності потоків, що переводять машини з одного випадкового стану в інший при роботі визначені в результаті обробки статистичної інформації. Імовірнісна структура агрегатів культуртехнічних комплексів, з урахуванням можливих станів їх базових та агрегатованих машин, визначена в результаті моделювання процесів на ПЕОМ. В результаті проведеного моделювання побудовано графічні залежності, що відображають вплив реальних умов експлуатації на основні техніко-економічні показники функціонування базових, агрегатованих машин та агрегатів культуртехнічних комплексів при виконанні технологічного процесу.

Одним із шляхів підвищення інтенсивності ремонтно-технічних впливів (РТВ) є залучення додаткових постів ремонтно-технічного обслуговування (РТО), що, у свою чергу, призводить до додаткових капіталовкладень в обслуговуючу систему. Тому інтенсивність РТВ повинна відповідати оптимальному значенню, в іншому випадку, подальше зростання експлуатаційних витрат пов'язане зі збільшенням витрат на вміст постів РТО, викликаний збільшенням забезпеченості РТВ без істотного впливу на ефективність функціонування культуртехнічних комплексів [7].

Рівень надійності парку культуртехнічних комплексів машин меліоративно-організаційних організацій визначається при його формуванні. При цьому враховується, що надійність роботи парку загалом обумовлена рівнем надійності технічних засобів у його складі, що визначає, у свою чергу, склад та структуру системи експлуатаційного забезпечення (система обслуговування), яка значною мірою впливає на рівень надійності машин культуртехнічних комплексів та визначає витрати на його експлуатацію [8].

На рисунку представлено динаміку зміни питомих витрат на експлуатацію чотирьох культуртехнічних комплексів (КТК) та їх складових залежно від забезпеченості ремонтно-технічних впливів.

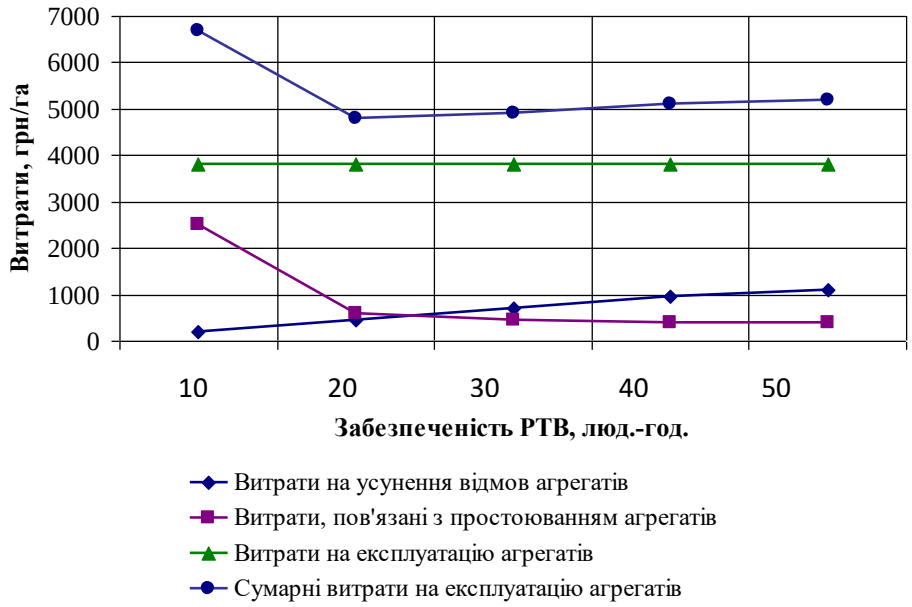


Рисунок 1. Зміна питомих експлуатаційних витрат та їх складових для агрегатів культуртехнічних комплексів від забезпеченості ремонтно-технічного впливу

Аналіз динаміки зміни складових УЄЗ показує, що зростання витрат на утримання засобів ремонтно-технічних впливів, пов’язане із залученням додаткових постів РТО, призводить до зниження втрат від простою агрегатів КТК з технічних причин у УЄЗ. З графіка видно, що з мінімальної забезпеченості РТВ питомі витрати на експлуатацію мають найбільше значення, це з величезними втратами від простоїв агрегатів КТК з технічних причин. Мінімальне значення питомих експлуатаційних витрат зазначається при забезпеченості РТВ, що відповідає трудомісткості 20 люд.-год. У цій галузі витрати на додаткові засоби ремонтно-технічного впливу компенсуються зниженням питомої ваги втрат від простою агрегатів КТК з технічних причин.

З графіків видно, що питомі експлуатаційні витрати, залежно від забезпеченості РТВ, змінюються за екстремальною кривою та мають свій оптимум відповідної певної забезпеченості РТВ.

Подальше збільшення забезпеченості ремонтно-технічних впливів, для кількості агрегатів культуртехнічних комплексів, що розглядається, призведе до збільшення питомих експлуатаційних витрат, внаслідок, непропорційного зниження витрат пов'язаних з простоєм з технічних причин і зростання витрат на утримання додаткових постів ремонтно-технічного обслуговування. Таким чином, проведений розрахунок оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів, дозволяє знизити на 50-90% частку витрат від простоїв агрегатів з технічних причин, і на 25-60% питомі експлуатаційні витрати машин, що розглядаються, залежно від кількості аналізованих комплексів .

У процесі досліджень виявлено основні варіанти організації виконання непланових ремонтів машин під час виконання меліоративних робіт.

Варіант 1. Непланові ремонти, що здійснюється на базі механізації. Меліоративна чи будівельна машина за допомогою тягача з трейлером чи своїм ходом доставляється на базу механізації до ремонтної ділянки. Після ремонту у той чи інший спосіб машина повертається на місце роботи. Простій машини складається з часу очікування початку перебазування, часу перебазування на базу і назад, часу виконання непланового ремонту. Витрати усунення раптових відмов складаються з витрат на перебазування машини, витрати на проведення непланових ремонтів, і навіть, враховуючи, що в результаті простою машини недовиконано певний обсяг робіт, тобто. із вартості цих робіт.

Позитивною рисою такої організації непланових ремонтів є те, що ремонт виконується в оснащених верстатами, механізмами, пристроями тощо. закритих приміщеннях, що дозволяє провести ремонт із високою якістю.

Однак такий варіант організації характеризується тим, що машина на значний час виключається з виробничого процесу, що суттєво впливає на термін виконання будівельних та меліоративних робіт та веде до збільшення вартості робіт.

Ремонт на базі механізації доцільно виконувати для самохідних машин, наприклад автомобільних кранів, у разі можливості прибуття останніх на базу своїм ходом, та при складному, трудомісткому ремонті.

Варіант 2. Неплановий ремонт провадиться на місці знаходження несправної машини, силами виїзних майстерень. Пересувні ремонтні майстерні зосереджені з урахуванням механізації. При надходженні

заявки на неплановий ремонт до несправної машини направляється пересувна майстерня з екіпажем ремонтних робітників.

Ремонт виконується на місці знаходження меліоративної машини, яка після усунення несправності продовжує роботу. Простій машини при цьому складається з часу, що минув з моменту зупинки до початку непланового ремонту, і з часу виконання непланового ремонту. Витрати на усунення відмови складаються з витрат на експлуатацію пересувної ремонтної майстерні, витрат на проведення непланового ремонту та вартості недовиконаного машиною за час простою обсягу робіт.

Позитивна сторона такої організації виконання непланових ремонтів полягає в тому, що значно порівняно з першим варіантом знижується час загального простою машини, і як наслідок, зменшуються обсяги невиконаних робіт на меліоративних та будівельних об'єктах. При цьому необхідно збільшити основні фонди – кількість пересувних ремонтних майстерень. Однак це збільшення компенсується тим, що пересувна ремонтна майстерня, з двостороннім зв'язком, за час роботи може усунути велику кількість раптових відмов, зменшуючи загальний час простою меліоративних і будівельних машин. Простий пересувний ремонтної майстерні обходиться значно дешевше, ніж порушення термінів введення в дію об'єктів будівництва.

Варіант 3. Неплановий ремонт провадиться на місці знаходження несправної машини, силами виїзних майстерень. Пересувні ремонтні майстерні розташовані у районах зосередження машин. Простій машин при цьому варіанті зменшується до часу виконання непланового ремонту, оскільки очікування початку ремонту практично зведено до мінімуму. Переїзди пересувної майстерні необхідні у разі перебазування або за відсутності запасних частин для складних ремонтів у комплекті запасних частин пересувної ремонтної майстерні.

Варіант 4. Неплановий ремонт провадиться на місці зосередження робіт за допомогою ремонтних майстерень напівстаціонарного типу. За великої концентрації меліоративних машин на об'єкті будівництва, віддаленому від бази механізації, економічно виправдано розгортання тимчасових ремонтних майстерень напівстаціонарного типу. Тимчасові споруди виконуються із складально-розбірних, сталевих конструкцій, розроблених з урахуванням можливості багаторазового складання та розбирання. Усередині споруда має два бокси. У першому боксі проводяться заправки техніки водою, олією, паливом, у другому – роботи з ремонтів та технічного обслуговування машин. Простій машини в цьому випадку визначається часом підготовки машини до ремонту і часом ремонту. Витрати усунення раптових відмов складаються з витрат на виконання непланових ремонтів, вартості недовиконаних обсягів робіт і витрат за експлуатацію майстерень.

Обґрунтування ланки спеціалізованої служби усунення відмов у механізованому комплексі включає питання оптимального співвідношення коштів та виконавців усунення наслідків відмов, при якому сумарні простої на усунення наслідків відмов будуть мінімальними. Сюди також слід віднести заходи щодо наближення ремонтно-обслуговуючих засобів до місць роботи машин. Це спеціалізовані служби, що мають у своєму складі пересувні засоби ремонту, а також пересувні пункти, пости профілактики та ремонту, оснащені комплектом запасних частин, що дозволяє скоротити простої техніки при усуненні наслідків відмов, знизити час на очікування та пошук запасних частин, підвищити значення коефіцієнтів готовності та технічного використання.

Існуючі положення та тенденції при організації спеціалізованих ланок усунення відмов машин розвиваються за такими напрямами:

1. Розподіл функцій усунення наслідків відмов та профілактичних робіт;

2. Склад ланки підбирається таким, щоб досягалося повне завантаження його виконавців;

3. Наближення засобів ремонту, технічного обслуговування та запасних частин до місць роботи комплексу.

До працюючого комплексу висувається одна з вимог до окремих його ланок – рівність продуктивності. Це може бути досягнуто за умови утримання у технічно справному стані машино-тракторних агрегатів, включених у комплекс.

Зважаючи на те, що машини тривалий час простоюють через пошук необхідних запасних частин, їх доставку, відсутність у польових умовах спеціального обладнання для проведення розбиральних та відновлювальних робіт, то з цього погляду виправдані всі заходи, відповідно до яких ремонтні ланки оснащують обмінним. фондом запасних частин.

Вивчення організації процесу усунення технічних відмов у різних меліоративних організаціях показали, що єдиного підходу до вирішення цього питання немає [9 – 13]. Спільним є те, що відмови, за рідким винятком, усуваються на місці роботи машин силами виїзних ремонтних бригад, оснащених пересувними ремонтними майстернями. Пересувні ремонтні бригади мають бути оснащені необхідним діагностичним та слюсарним обладнанням, інструментами та машинами технічної допомоги, як правило, на базі автомобілів ГАЗель та інших марок, у тому числі закордонного виробництва, а також автокраном. До складу бригади, як правило, повинні входити: інженер-механік, моторист, слюсар-механік з трансмісії, ходової частини та водій автомобіля-техдопомоги, що також бере участь у проведенні ремонтних робіт. У зв’язку з вище викладеним, визначення

оптимальної кількості персоналу, а також рівня технічної оснащеності виїзних ремонтних бригад для усунення непланових відмов є перспективним завданням для подальших досліджень.

Висновки. Встановлено, що оптимальна забезпеченість ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів, що дозволяє знизити на 50-90% частку витрат від простоїв агрегатів з технічних причин та на 25-60% питомі експлуатаційні витрати.

На підставі досліджень розроблено рекомендації щодо визначення оптимальної забезпеченості ремонтно-технічних впливів на агрегати культуртехнічних комплексів та організації виконання непланових ремонтів спеціалізованими службами, у тому числі дилерами заводів-виробників.

Список використаних джерел

1. Быков В. В. Методологические и технологические основы системы технического сервиса лесных машин: дис. … д-ра техн. наук: 05.21.01. Москва, 2005. 352 с.

2. Кушнарев Л. И. Совершенствование технического сервиса машинно-тракторного парка МТС: монография. Москва: МГАУ, 2002. 135 с.

3. Зенченко В. А., Васильев В. А., Ермилов Д. С. Организация централизованного ТО и ремонта автобусов. *Автотранспортное предприятие*. 2007. № 9. С. 35-40.

4. Апатенко А. С. Влияние срока службы машин на их эксплуатацию при выполнении мелиоративных работах. *Техника и оборудование для села*. 2013. № 10. С. 4-8.

5. Мелиорация земель: учебник / под ред. А. И. Голованова. Москва: КолосС, 2011. 824 с.

6. Оценка состояния и потребности насосных станций для оросительных систем. Москва: Росинформагротех, 2010. 112 с.

7. Апатенко А. С., Владимирова Н. И. Пути повышения эффективной эксплуатации машин мелиоративного комплекса. *Техника и оборудование для села*. 2014. № 3. С. 38-41.

8. Galiev I., Khafizov C., Adigamov N., Khusainov R. Increase of efficiency of tractors use in agricultural production. 17th International Scientific Conference "Engineering for Rural Development". 2018. Vol. 17. P. 373-377. DOI: 10.22616/ERDev2018.17.N482.

9. Апатенко А. С., Евграфов В. А. Оптимизация обеспеченности агрегатов мелиоративных технологических комплексов в ремонтно-технических воздействиях. *Техника и оборудование для села*. 2014. № 8. С. 41-44.

10. Juściński S. A survey on the structure of servicing activities carried out within the technical maintenance services of farm vehicles and machines.

Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 2012. Vol. 15, № 4. P. 132-148.

11. Rybacki P. The research of the quality of agricultural machines technical service by servqual method. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering.* 2011. Vol. 56, № 2. P. 122-143.

12. A decision support method for choosing an agricultural machinery service workshop based on fuzzy logic / A. Osuch et al. *Agriculture*. 2020. Vol. 10, № 3. C. 76-84. DOI: 10.3390/agriculture10030076.

13. Mihov M. Optimization of the frequency of the technical service of machines with reliance of reliability. *Mechanization in agriculture Conserving of the resources.* 2018. Vol. 64, № 6. P. 200-202.

Стаття надійшла до редакції 19.10.2021 р.

V. Didur[1], T. Kutkovetska[1], O. Vyunyk[2], V. Panina[2]
[1]Uman National University of Horticulture
[2] Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

INCREASING THE EFFICIENCY OF OPERATION OF MELIORATIVE MACHINES

Summary

Nowadays, due to the widespread use of complex mechanization in reclamation construction, the issue of efficient use of machines as part of the technological complex is especially acute. In this regard, the problem of operation of technological complexes of machines and determining their optimal composition when performing reclamation works, forecasting their effectiveness, taking into account the actual indicators of reliability, are very relevant.

The purpose of this work is to establish the causes of downtime of basic and aggregate machines and provide recommendations for the organization of their consequences.

The article indicates the types of reclamation works, which machines are used for reclamation and construction works, as well as the main features that define the reclamation machine. The algorithm of the process of selection of the optimal provision of repair and technical influences on the units of cultural and technical complexes is described in the work.

The dynamics of changes in the unit costs for the operation of four cultural and technical complexes and their components depending on the provision of repair and technical impacts is presented graphically.

The article presents the main options for organizing the implementation of unscheduled repairs of machines during the reclamation works and reveals the essence of each of them.

It is established that the optimal provision of repair and technical effects on the units of cultural complexes allows to reduce by 50-90% the share of costs from downtime of units for technical reasons and by 25-60% specific operating costs.

On the basis of researches recommendations on definition of optimum maintenance of repair and technical influences on units of cultural and technical complexes and the

organization of performance of unscheduled repairs by specialized services, including dealers of factories-manufacturers are developed.

Key words: reclamation, operation, efficiency, repair and technical impact.

В. В. Дидур[1], Т. А. Кутковецкая[1], О. В. Вьюник[2], В. В. Панина[2]
[1]Уманский национальный университет садоводчества
[2]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕЛИОРАТИВНЫХ МАШИН

Аннотация

В статье указаны существующие виды мелиоративных работ, применяемые машины для их проведения мелиоративно-строительных работ, а также основные признаки, определяющие мелиоративную машину. Описан алгоритм процесса выбора оптимальной обеспеченности ремонтно-технических воздействий на агрегаты культуртехнических комплексов. Даны варианты организации выполнения неплановых ремонтов машин при выполнении мелиоративных работ.

Установлено, что оптимальная обеспеченность ремонтно-технических воздействий на агрегаты культуртехнических комплексов позволяет снизить на 50-90% долю затрат от простоев агрегатов по техническим причинам и на 25-60% удельных эксплуатационных затрат.

На основании исследований разработаны рекомендации по определению оптимальной обеспеченности ремонтно-технических воздействий на агрегаты культуртехнических комплексов и организации выполнения неплановых ремонтов специализированными службами, в том числе дилерами заводов-производителей

Ключевые слова: мелиорация, эксплуатация, эффективность, ремонтно-техническое воздействие.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-19

УДК 621.91

О. С. Колодий, к.т.н. ORCID: 0000-0003-2237-6730
О. В. Сушко, к.т.н. ORCID: 0000-0002-9840-3611
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного, г. Мелитополь, Украина
e-mail:aelxandr@rambler.ru

ИЗМЕНЕНИЕ РАБОТЫ РЕЗАНИЯ ПОД ВЛИЯНИЕМ НАНЕСЕННОГО НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ

Аннотация. В работе рассматриваются вопросы, связанные с выбором состава и способа применения смазочно-охлаждающей технологической среды (в виде слоя стеариновой кислоты), нанесенной на обрабатываемую поверхность, и ее влияния на механизмы резания. Показано, что при резании металлов наблюдается сложное взаимодействие металлических поверхностей, которое является следствием сложных физико-химических процессов, протекающих на контактных и близлежащих к ним поверхностях инструмента, стружки и обрабатываемой детали, и зависит от большого числа факторов, совокупность которых предопределяет конкретный результат применения технологической среды в данных условиях.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что основными компонентами в работе резания являются работа деформации сдвига в плоскости сдвига, работа трения по передней грани резца и работа формирования слоя с измененной структурой при резании. Среди этих компонентов работа формирования слоя с измененной структурой является основной при резании с микроскопической глубиной.

Получены уравнения определения работы деформации сдвига в плоскости сдвига и работы трения по передней грани, выявлена их доля в изменении работы резания для случаев резания меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности. Установлен эффект действия покрытия на силу сопротивления резанию, который проявляется в уменьшении усилия вдавливания. Показано, что происходящее при этом уменьшение работы резания обусловлено в большей степени уменьшением работы деформации сдвига; в работе трения по передней грани резца происходит уменьшение

© О. С. Колодий, О. В. Сушко

результирующей силы сопротивления резанию вследствие сокращения поверхности сдвига. Сделан вывод, что основное уменьшение работы резания в случае нанесения на обрабатываемую поверхность соответствующего покрытия (слоя стеариновой кислоты) обеспечивается снижением работы деформации сдвига в результате увеличения угла сдвига, в то время как меньшая часть обеспечивается изменением работы трения по передней грани резца.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающие технологические средства, режимы резания, работа трения, деформация сдвига, сопротивление резанию.

Постановка проблемы. Одним из эффективных методов повышения обрабатываемости материалов и качества получаемой поверхности является выбор состава и способ применения технологической среды (ТС) при резании. В практике металлообработки в настоящее время широко используют жидкие, газообразные и твердые смазочно-охлаждающие технологические средства. Применение при обработке резанием таких сред увеличивает стойкость режущего инструмента, снижает силы резания и шероховатость поверхности, повышает усталостную прочность изделия и другие его эксплуатационные характеристики. При резании металлов наблюдается весьма сложное взаимодействие металлических поверхностей, которое непрерывно возникает или обновляется в процессе резания под воздействием окружающей среды. Оно является следствием сложных физико-химических процессов, протекающих на контактных и близлежащих к ним поверхностях инструмента, стружки и обрабатываемой детали, и зависит от большого числа факторов, совокупность которых предопределяет конкретный результат применения технологической среды в данных условиях [1, 2].

Учитывая неизбежные затраты, а также экологические аспекты, связанные с использованием технологических средств, применение сред, с помощью которых можно наиболее полно реализовать технологию минимальной смазки, является весьма актуальным и перспективным.

Анализ последних исследований. В настоящее время мнение большинства исследователей склоняется к тому, что смазочное действие ТС является их основным и наиболее значимым действием во всем возможном диапазоне скоростей и температуры резания [3,4].

Ученые, занимающиеся данной проблематикой, исследовали такие среды как углеводороды, воски, парафин, свинец, графит и т. п. [5,6,7]. Исследования показали, что даже без подачи на переднюю грань резца жидкой смазки можно достигнуть такого же положительного эффекта увеличения коэффициента резания (угла

сдвига), уменьшения сил резания и улучшения состояния обработанной поверхности, какой достигается в условиях резания с применением смазочно-охлаждающей жидкости [8,9,10]. Кроме того, такой же эффект был получен при проведении экспериментального резания с образованием масляной пленки путем нанесения на обрабатываемую поверхность рапсового, парафинового и касторового масла [9,10,11].

Работами академика П. А. Ребиндера и его школы установлено, что совместно с внешнесмазочным действием адсорбционных пленок СОТС в определенных условиях могут оказывать «внутреннее смазочное действие». Поверхностно-активные вещества, входящие в состав смазочно-охлаждающих жидкостей, проникают в зону деформации по плоскостям скольжения в отдельных зернах обрабатываемого металла и тем самым облегчают процесс пластической деформации срезаемого слоя. Продукты распада адсорбированных поверхностно-активных веществ внедряются в кристаллическую решетку наиболее деформированных зерен металла, переводя его в более хрупкое состояние. Такое охрупчивание приводит к уменьшению величины предельной пластической деформации срезаемого слоя перед разрушением и уменьшению работы резания. В работах [7,13,14] показано, что влияние среды на обрабатываемой поверхности может оказаться таким же сильным, как в случае резания с обычной подачей ТС на переднюю грань резца. Авторами подчеркивается, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать только с учетом свойств обрабатываемого материала.

Формулировка цели работы. Целью работы является исследование работы резания под влиянием нанесенного на обрабатываемую поверхность покрытия и явлений, происходящих при этом в механизме резания.

Основная часть. Основными компонентами в работе резания являются работа деформации сдвига в плоскости сдвига, работа трения по передней грани резца и работа формирования слоя с измененной структурой при резании. Среди этих компонентов работа формирования слоя с измененной структурой является основной при резании с микроскопической глубиной. Можно считать, что в пределах данного эксперимента резание частично относится к категории случаев с микроскопической глубиной. Однако если считать, что основным фактором при изменении свойств поверхностного слоя обрабатываемого материала в работе резания является изменение угла сдвига, предварительно необходимо рассмотреть работу деформации сдвига в плоскости сдвига и работу трения по передней грани резца.

Под влиянием покрытия φ увеличивается, однако, поскольку в то же самое время происходит увеличение угла трения β по передней грани. Для случая резания с покрытием постараемся выявить, какая

доля в изменении работы резания приходится на плоскость сдвига, и какая – на плоскость передней грани резца.

Работа деформации сдвига E_s в плоскости сдвига, необходимая для резания на единице длины обрабатываемого материала, равна:

$$E_s = \tau_s \gamma_s wt, \quad (1)$$

где τ_s, γ_s – соответственно напряжения и деформации сдвига в плоскости сдвига;

w – толщина листа обрабатываемого материала.

Поскольку:

$$\gamma_s = F_s \frac{\cos\propto}{\sin\varphi \cos(\varphi-\alpha)}, F_s = \frac{wt}{\sin\varphi}\tau_s, \quad (2)$$

получим:

$$E_s = F_s \frac{\cos\propto}{\cos(\varphi-\alpha)}. \quad (3)$$

С другой стороны, работа трения E_f по передней грани при обозначении силы трения по передней грани через F и коэффициента резания через r_c равна:

$$E_f = Fr_c. \quad (4)$$

Исходя из условия

$$F = F_s \frac{sin\beta}{\cos(\varphi+\beta-\alpha)}, r_s = \frac{\sin\varphi}{\cos(\varphi-\alpha)}, \quad (5)$$

для E_f получим следующее выражение:

$$E_f = F_s \frac{\sin\beta \sin\varphi}{\cos(\varphi+\beta-\alpha)\cos(\varphi-\alpha)}. \quad (6)$$

На рис. 1 представлены графики, построенные расчетным путем по формулам (3) и (6) для случаев резания меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности.

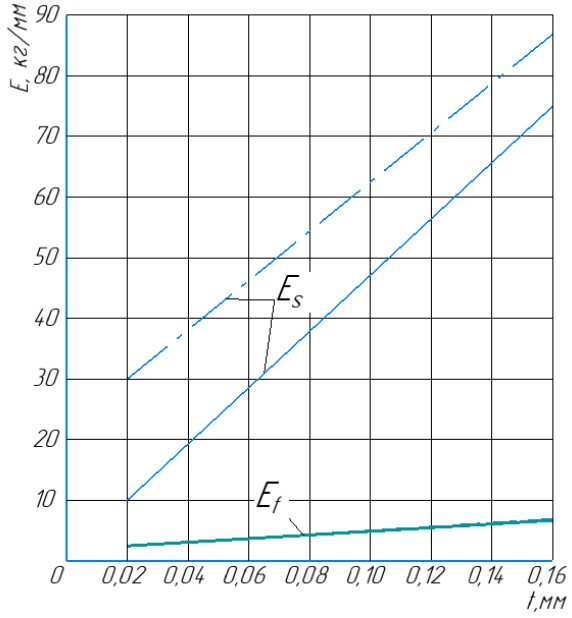


Рисунок 1. Резание меди всухую и с покрытием на обрабатываемой поверхности.

На рис. 1 сплошной линией обозначено резание с покрытием, прерывистой – резание всухую.

Как видно из рисунка, работа трения E_f по передней грани резца мало чем отличается в случае резания всухую и с нанесенным на поверхность покрытием, в то время как при резании с покрытием уменьшается только работа деформации сдвига E_s. Эффект действия покрытия на силу сопротивления резания проявляется в уменьшении усилия вдавливания, однако очевидно, что происходящее при этом уменьшение работы резания обусловлено, в основном, уменьшением работы деформации сдвига.

В работе трения по передней грани резца происходит уменьшение результирующей силы сопротивления резанию вследствие сокращения поверхности сдвига, однако этот эффект полностью перекрывается обратным действием увеличения скорости схода стружки и угла трения по передней грани.

Выводы. Анализ результатов исследования влияния среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на условия низкоскоростного ортогонального резания позволяет сделать следующие выводы:

1. Наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига и к снижению сил сопротивления резанию, но, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца.

2. Среду, нанесенную на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала. В частности, для меди подача смазочного масла на переднюю грань резца дает слабый эффект, в то время как смазка путем нанесения слоя на обрабатываемую поверхность оказывается весьма ощутимой. При резании алюминия одинаково ощутимы оба способа подачи смазки.

3. Основное уменьшение работы резания в случае нанесения на обрабатываемую поверхность соответствующего покрытия (слоя стеариновой кислоты) обеспечивается снижением работы деформации сдвига в плоскости сдвига.

Список использованных источников

1. Skliar O., Grigorenko S., Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms // *Theory, practice and science*. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. // *Multidisciplinary academic research*. Abstracts of I

International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. Pp. 83-86.

3. Резание и инструмент в технологических системах. Вып. 85. 2015. URL: http:// library.kpi.kharkov.ua › files › JUR › rez_85_2015/ (дата звернення: 13.10.2021).

4. Чжоу Ян. Оценка оптимальных условий лезвийной обработки углеграфитов с содержанием антрацита 70%: магистерская диссертация. ТПУ, 2017. URI: http://earchive.tpu.ru/handle/11683/41186 (дата звернення: 13.10.2021).

5. Yue Yan. Cutting fluid mist formation via atomization mechanisms. PhD. Michigan Technological University. Abstract. Jul 2000. ProQuest Dissertations and Theses; Thesis (Ph.D.). Michigan Technological University, 2000; Publication Number: AAI9959380

6. Saynatjoki M., Koutio M. Drilling test-a method for cutting. *Tribologia*. 2002. Vol. 11, № 2. P. 30-38.

7. Колодій О. С. Аналіз плоского пластичного плину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-17.

8. Автоматичне управління процесами обробки металів різанням: метод. посібник з виконання лабораторних робіт / С. В. Кюрчев, О. В. Сушко, О. О. Ковальов. Мелітополь: Люкс, 2020. 136 с.

9. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев и др.; под ред. А. И. Кондакова. Москва: Машиностроение, 2005. 352 с.

10. Сошко А. И., Сошко В. А. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла: в 2-х т. Херсон: Олди-плюс, 2008. Т. 1, 2. 618 с.

11. Сушко О. В., Пеньов О. В. Індивідуальне прогнозування технічного стану машин та розробка методу визначення умовної функції розподілу їх залишкового ресурсу. *Machinery & Energetics.* Journal of Rural Production Research. 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69. DOI: 10.31548/machenergy.2019.04.063-069.

12. Kiurchev, S. Luzan, P. Zasiadko, A., Radionov, H. Influence of the flow area of distribution systems on changing the operating parameters of planetary hydraulic motors. *IOP Conference Series:* Materials Science and Engineering. 2021. 1021(1). P. 012037.

13.De Chiffe L., Wanheim T. Chip compression relationship in metal cutting. NAMRC-IX, SME Proc. 2011. 231 с.

14. Колодий А. С. Влияние среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на процесс резания. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 2. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-17.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2021 р.

O. Kolodii, O. Sushko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

CHANGES IN THE CUTTING WORK UNDER THE INFLUENCE OF THE COATING ON THE SURFACE TO BE PROCESSED

Summary

The paper deals with the issues related to the choice of the composition and method of application of the lubricating-cooling technological medium (in the form of a layer of stearic acid) applied to the surface to be treated, and its influence on the cutting mechanisms. It is shown that when cutting metals, a complex interaction of metal surfaces is observed, which is a consequence of complex physicochemical processes occurring on the contact and nearby surfaces of the tool, chips and workpiece, and depends on a large number of factors, the combination of which predetermines the specific result of the application of technological environment in these conditions.

The experimental studies carried out made it possible to establish that the main components in the work of cutting are the work of shear deformation in the shear plane, the work of friction along the leading edge of the cutter and the work of forming a layer with a changed structure during cutting. Among these components, the work of forming the restructured layer is central to the cutting process to microscopic depths.

Equations for determining the work of shear deformation in the shear plane and the work of friction along the front face are obtained, their share in the change in the cutting work for cases of dry cutting and with a coating on the processed surface is revealed. The effect of the coating action on the cutting resistance force, which manifests itself in a decrease in the indentation force, is established. It is shown that the resulting decrease in the work of cutting is largely associated with a decrease in the work of shear deformation; when friction works on the leading edge of the cutter, the resulting cutting resistance force decreases due to a decrease in the shear surface. It is concluded that the main reduction in the work of cutting when applying a suitable coating (stearic acid layer) on the surface of the workpiece is provided by a decrease in the work of shear deformation as a result of an increase in the shear angle, and a smaller part is provided by changing the work of friction along the leading edge of the cutter.

Key words: lubricating and cooling technological means, cutting conditions, friction work, shear deformation, cutting resistance.

О. С. Колодій, О. В. Сушко
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

ЗМІНА РОБОТИ РІЗАННЯ ПІД ВПЛИВОМ НАНЕСЕНОГО НА ОБРОБЛЮВАНУ ПОВЕРХНЮ ПОКРИТТЯ

Анотація

У роботі розглядаються питання, пов’язані з вибором складу і способу застосування мастильно-охолоджувального технологічного середовища (у вигляді шару стеаринової кислоти), нанесеної на оброблювану поверхню, та її впливу на механізми та режими різання. Показано, що при різанні металів спостерігається складна взаємодія металевих поверхонь, яка є наслідком складних фізико-хімічних процесів, що протікають на контактних і прилеглих до них поверхнях інструменту, стружки та оброблюваної деталі, і залежить від великої кількості факторів,

сукупність яких зумовлює конкретний результат застосування технологічного середовища в даних конкретних умовах.

Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що основними компонентами в роботі різання є робота деформації зсуву в площині зсуву, робота тертя по передній грані різця та робота формування шару зі зміненою структурою при різанні. Серед цих компонентів робота формування шару зі зміненою структурою є основною при різанні з мікроскопічною глибиною.

Отримані рівняння визначення роботи деформації зсуву в площині зсуву та роботи тертя по передній грані, виявлені їх характер та частка в зміні роботи різання для випадків різання міді насухо та з покриттям на оброблюваній поверхні. Встановлено ефект дії покриття на силу опору різання, який проявляється в зменшенні зусилля вдавлювання. Авторами вказується, що при цьому відбувається зменшення роботи різання, яке обумовлено, більшою мірою, зменшенням роботи деформації зсуву. В роботі тертя по передній грані різця спостерігається зменшення результуючої сили опору різання внаслідок скорочення поверхні зсуву. Зроблено висновок, що основне зменшення роботи різання в разі нанесення на оброблювану поверхню відповідного покриття (шару стеаринової кислоти) забезпечується зниженням роботи деформації зсуву в результаті збільшення кута зсуву, в той час як менша частина забезпечується зміною роботи тертя по передній грані різця.

Ключові слова: змащувально-охолоджувальні технологічні засоби, режими різання, робота тертя, деформація зсуву, опір різанню.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-20

УДК 631.164.23

Г. І. Грицаєнко, к.е.н., доц. ORCID: 0000-0001-7168-2836
І. М. Грицаєнко, ст. викладач ORCID: 0000-0001-6095-4023
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь
halyna.hrytsaienko@tsatu.edu.ua

РОЗРОБКА ІНВЕСТИЦІЙНИХ ПРОЄКТІВ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА: ОРІЄНТАЦІЯ НА СТАЛИЙ РОЗВИТОК

Анотація. Мета статті – дослідити сутність сталого розвитку та об'єктивну необхідність орієнтації на нього при обґрунтуванні доцільності інвестиційних проєктів аграрного виробництва.

У процесі дослідження використано діалектичні методи пізнання, в тому числі монографічний (аналіз публікацій щодо питань розробки інвестиційних проєктів та сталий розвиток) та абстрактно-логічний (теоретичні узагальнення та формулювання висновків) методи.

Досліджено взаємозв'язок капітальних інвестицій та викидів забруднюючих речовин. Аргументована необхідність орієнтування інвестиційних проєктів аграрного виробництва на сталий розвиток. Запропоновано узгоджувати результати кожного етапу розробки інвестиційних проєктів з глобальними цілями сталого розвитку.

Ключові слова: сталий розвиток, аграрне виробництво, капітальні інвестиції, інвестиційні проєкти, викиди забруднюючих речовин, екологічний баланс, соціальний прогрес, економічне процвітання.

Постановка проблеми. Одним із пріоритетів української економічної політики є розвиток аграрного виробництва. Позитивно оцінюючи його динаміку, не можна не визнати, що при цьому виникають проблеми еколого-соціо-економічного узгодження, тому вважаємо, що саме концепція сталого розвитку повинна бути головним орієнтиром в розробці інвестиційних проєктів аграріїв.

Аналіз останніх досліджень. Питання обґрунтування доцільності, можливості та економічної ефективності інвестиційних проєктів знайшли своє відображення в публікаціях багатьох дослідників. Так, А. А. Карпович, В. В. Самсонова і Н. Ю. Шевченко розробили систему інтегральної оцінки проєктних (інвестиційних) пропозицій та інвестиційних проєктів, для розробки або реалізації яких надається державна підтримка, за визначеним переліком критеріїв [1].

© Г. І. Грицаєнко, І. М. Грицаєнко

Т. І. Печончик та Н. С. Оксюта для ефективного та раціонального використання бюджетних коштів запропонували встановлювати цінність проєкту, яка визначається різницею позитивних результатів та негативних наслідків [2]. О. В. Пилипяк розглянув значущість методу стандартизації показників у комплексній оцінці інвестиційних проектів [3], а Стрєльніков Р. М. звернув увагу на необхідність використання науково-методичного підходу до дослідження ступеня впливу інституціональних факторів при розробці і реалізації інвестиційних проєктів протягом певного відрізка часу та запропонував формалізацію моделі впливу інституціональних факторів на інвестиційну діяльність підприємства або групи підприємств [4].

В останні роки все більше дослідників при обґрунтуванні інвестиційних проєктів особливу увагу звертають на екологічні та соціальні проблеми. Так, В. Аранчій, О. Зоря, І. Яснолоб та ін. [5] обґрунтували систему комплексного аналізу та оцінки ефективності проєктів зі стійкого розвитку сільських територій, включаючи оцінку економічної, соціальної та екологічної ефективності проєктів. И. Н. Лабіб, В. Б. Лотфаллаг, А. С. Ганна та Н. В. Боулос провели дослідження, яке надає державним організаціям фактичні докази ефективності їхніх проєктів при різних методах реалізації та системах торгів, а також дає рекомендації щодо практичного впровадження для підвищення успіху їхніх проєктів з використанням унікальної математичної моделі, заснованої на даних Індексу продуктивності проєкту [6].

К. Юе, П. Ґуо представили нову оптимізаційну модель взаємозв'язку води, енергії, продуктів харчування та навколишнього середовища для сталого розвитку сільського господарства, яка здатна врівноважити компроміси між соціально-економічними, ресурсними і екологічними проблемами [7]. С. Ґорїан , Г. Ебаді, М . Троммсдорфф та ін. [8] дослідили фотоелектричну технологію перетворення сонячної енергії в сільському господарстві, яка знижує потребу в паливі на нафтовій основі в цьому секторі, пропонуючи більш доступну і стійку технологію виробництва електроенергії і викликаючи помітне скорочення викидів парникових газів. З. Амірі, М. Р. Асгаріпоур, Д. Е. Цампбелл та ін. [9] вивчали проблеми досягнення продовольчої безпеки в довгостроковій перспективі, виявлення і впровадження стійких екосистем, які пов'язані з захистом природних ресурсів і наданням екологічних послуг, що випливають з використання цих ресурсів.

Д. Памучар, М. Бехзад, Д. Божанич і М. Бехзад вивчали проєкти сталого розвитку, засновані на реалізації енергетичної політики в різних секторах суспільства, в тому числі сільськогосподарського [10].

В публікаціях дослідників розкриваються питання інвестицій в енергоефективність [11] та екологічні інвестиції [12].

Окрему увагу привертають дослідження, присвячені інвестиціям в технічне забезпечення аграрного виробництва [13], а також впливу сільськогосподарської техніки на навколишнє середовище. Так, Д. Ловареллі , Й. Баценетті та М. Фяла провели тематичне дослідження екологічного навантаження альтернативних варіантів оранки з врахуванням місцевих умов і характеристик техніки [14]. С. В. Приор, Й. Смітгерс, П. Лине та ван Р. Антверпен оцінили вплив механізації на ущільнення ґрунту, яка призводить до зниження врожайності і пропорційного збільшення енерговитрат і викидів парникових газів [15].

С. М. Алімагам, А. Солтані, Е. Зеіналі, Г. Каземе дослідили енергетичні потоки і викиди парникових газів у проєктах виробництва сої на основі чотирьох основних виробничих сценаріїв, що застосовуються в цьому регіоні, з метою виявлення і впровадження відповідно найбільш ефективних і екологічно безпечних [16]. Й. Ланґ, Й. Тян, И. Жоу та ін. розробили комплексний кадастр викидів з високим просторово-тимчасовим дозволом для сільськогосподарської техніки в Китаї для дослідження наслідків для навколишнього середовища та клімату, розробки політики контролю викидів і моделювання якості повітря [17].

При цьому загальні питання сталого розвитку в своїх дослідженнях розкривали Г. Х. Брундтланд [18], В. С. Загорський [19], Ю. Б. Федунь [20], Г. І. Куспляк [21], М. І. Стегней [22] та ін. науковці.

Незважаючи на наявність публікацій з питань обґрунтування доцільності та ефективності розробки та реалізації інвестиційних проєктів, а також окремо сталого розвитку, залишаються недопрацьованими проблеми орієнтування проєктів на сталий розвиток, що обумовлює актуальність обраної теми.

Формулювання цілей статті (постановка завдання) – дослідити сутність сталого розвитку та об’єктивну необхідність орієнтації на нього при обґрунтуванні доцільності інвестиційних проєктів аграрного виробництва.

Основна частина. В ході дослідження був з’ясований взаємозв’язок загальних обсягів капітальних інвестицій та викидів забруднюючих речовин в Україні (рис. 1).

В 2020-му році загальна кількість викидів забруднюючих речовин (у) порівняно з 2010-м роком зменшилась на 40% і становила 4017,3 тис. т за рік, при цьому їхня залежність від загальних обсягів капітальних інвестицій в національну економіку (х) була обернено пропорційною:

$y = -6{,}3115x + 7554{,}3$; $D = 0{,}6265$; $R = 0{,}7915$

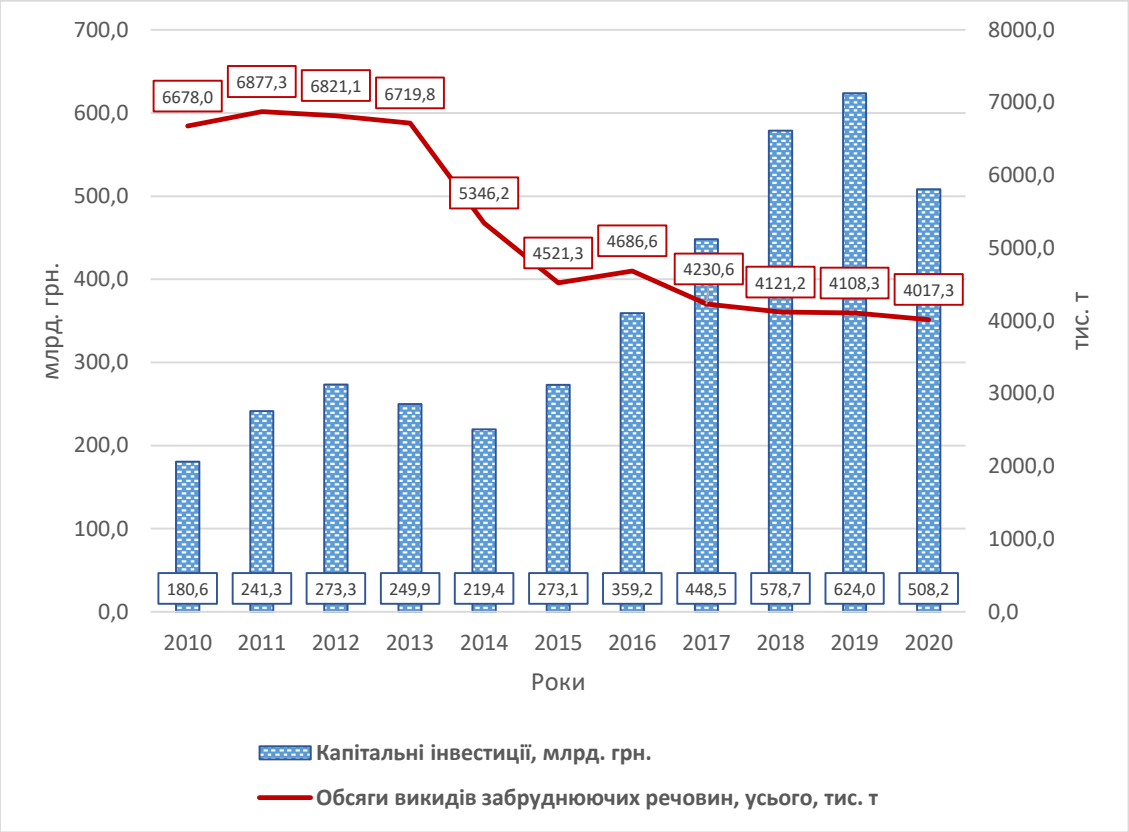


Рисунок 1. Динаміка загальних обсягів капітальних інвестицій (млрд. грн.) та викидів забруднюючих речовин в Україні (тис. т)

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України

Тобто, збільшення капітальних інвестицій на 1 млрд. грн. супроводжувалось відповідним скороченням загальних викидів на 6,3 тис. т за рік, при цьому коефіцієнт кореляції (R = 0,7915) свідчить про наявність тісного зв'язку, а коефіцієнт детермінації (D = 0,6265) – про те, що варіація залежної змінної на 62,65% визначається коливаннями незалежної змінної, при цьому 37,35% – вплив факторів, які не включені в модель.

За період з 2010-го по 2020-й рік курс долара збільшився в 3,55 рази, тому взаємозв'язок загальних обсягів капітальних інвестицій в доларовому еквіваленті та викидів забруднюючих речовин в Україні суттєво змінився (рис. 2).

Тобто, якщо розглядати капітальні інвестиції у доларовому еквіваленті (x), картина спостерігається дещо інакша: збільшення капітальних інвестицій на 1 млрд. доларів супроводжується збільшенням загальних викидів (y) на 104,87 тис. т. за рік:

$$y = 104{,}87x + 3018{,}4;\ D = 0{,}4443;\ R = 0{,}8054.$$

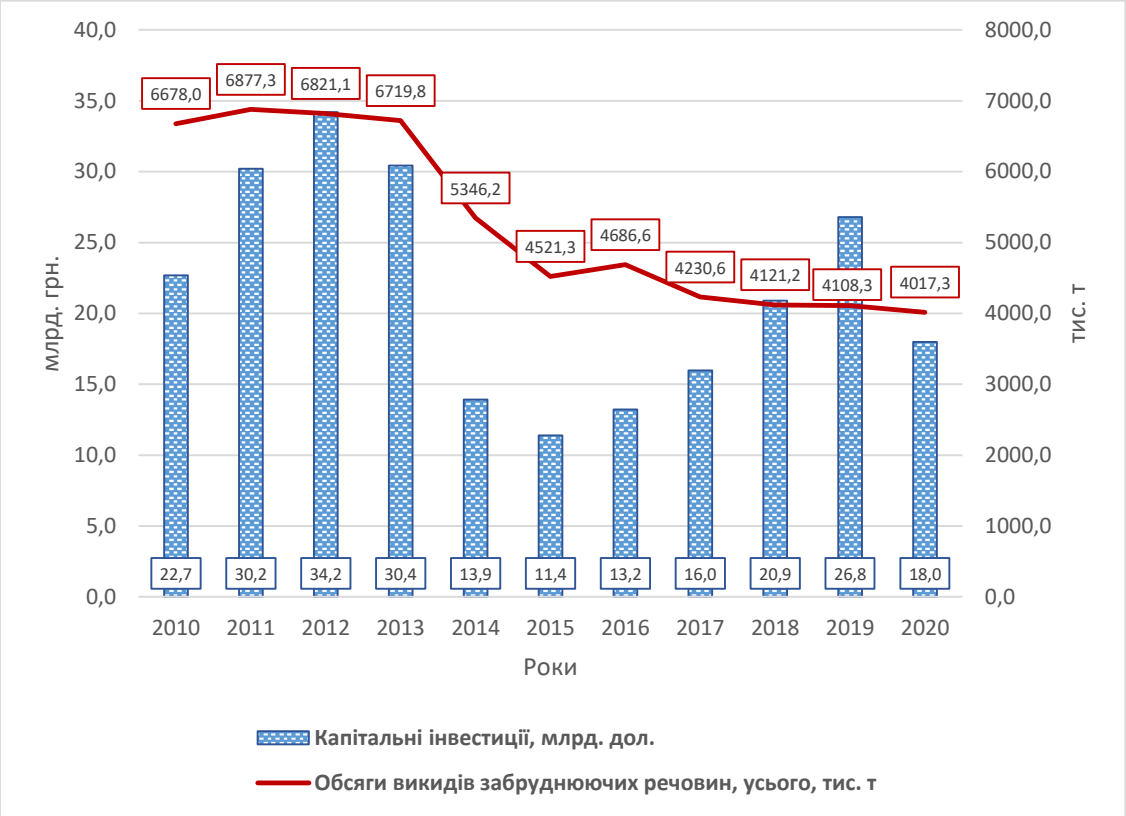


Рисунок 2. Динаміка загальних обсягів капітальних інвестицій у доларовому еквіваленті (млрд. дол. США) та викидів забруднюючих речовин в Україні (тис. т)

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України

Викликає зацікавленість динаміка обсягів утворення відходів у сільському, лісовому та рибному господарствах, а також їхньої питомої ваги в загальному утворенні відходів (рис. 3).

В 2009-му році порівняно з 1995-м роком загальна кількість викидів в Україні зросла в 1,4 рази, тоді як у сільському, лісовому та рибному господарствах відповідно в 4,3 рази (до 2761,4 тис. т, що становило 1,1% від загального обсягу відходів).

В 2010-му році в сільському, лісовому та рибному господарствах утворення відходів стрибкоподібно зросло – в три рази, до 2,0% від загального обсягу відходів у країні.

У 2019-му році порівняно з 2010-м роком кількість відходів в цьому секторі економіці скоротилася на 18,7% (до 1,5% від загальноекономічного обсягу).

Таким чином, можна стверджувати, що інвестиційні проєкти потребують більш ретельного дослідження проблем, пов’язаних з охороною навколишнього середовища.

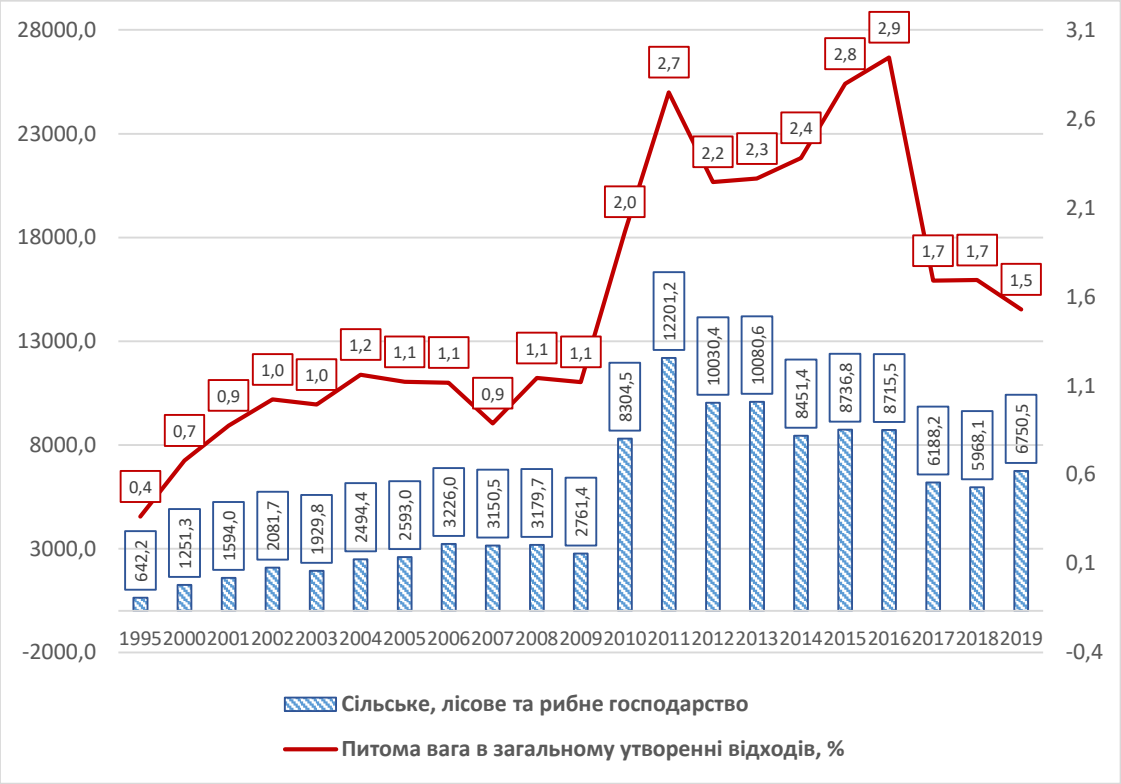


Рисунок 3. Динаміка обсягів утворення відходів у сільському, лісовому та рибному господарствах (тис. т) та їхньої питомої ваги в загальному утворенні (%)

Джерело: побудовано авторами за даними Державної служби статистики України

Нами була підтверджена гіпотеза, що розвиток національної економіки залежить не тільки від економічних, але й від соціальних та екологічних чинників, які взаємопов'язані та взаємодіють один з одним. Була розрахована залежність валового внутрішнього продукту на душу населення, розрахованого за паритетом купівельної спроможності в доларах США (У), який одночасно можна розглядати і як економічний, і як соціальний чинник, від обсягу капітальних інвестицій на душу населення в доларах США (x_1, економічний чинник) та обсягу утворених відходів на душу населення, кг (x_2, екологічний і соціальний чинник):

$$Y = 4721{,}72 \cdot x_1^{0{,}0465} \cdot x_2^{0{,}1144}.$$

На рис. 4 наведені фактичні та розрахункові дані за побудованою залежністю валового внутрішнього продукту на душу населення, розраховані за паритетом купівельної спроможності в доларах США.

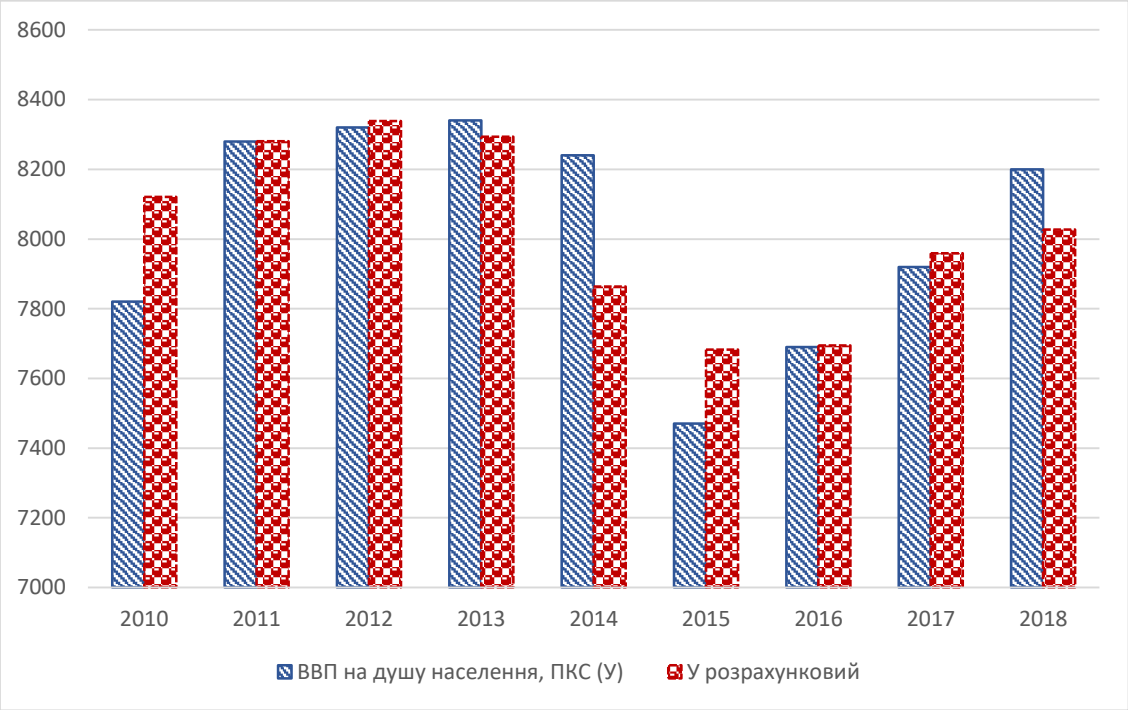


Рисунок 4. Графік фактичних та розрахункових даних за побудованою залежністю валового внутрішнього продукту на душу населення за паритетом купівельної спроможності в доларах США

Джерело: складено автором на основі власних досліджень

Значимість рівняння множинної регресії в цілому оцінюється за допомогою F-критерію Фішера за формулою:

$$Fрозр. = \frac{\sum(Уі\ розр. - Усеред.розр.)^2}{m} \times \frac{n-m-1}{\sum(Уі - Уі\ розр.)^2}, \quad (1)$$

де n – кількість спостережень;

m – кількість факторів, включених в модель.

Розрахований F-критерій Фішера дорівнює 5,1433, що перевищує табличне значення (Fтабл = 4,8327). Це свідчить про те, що з вірогідністю 95% побудована виробнича функція відповідає вихідним даним, тобто її доцільно використовувати в подальших дослідженнях.

Показники ступеня і-ого фактору відображають зміну результативного показника у відповідності до зміни факторних ознак. Тобто ступені показників x_1, x_2 свідчать про те, наскільки відсотків зміниться розмір валового внутрішнього продукту на душу населення, розрахованого за паритетом купівельної спроможності в доларах США, при зміні відповідних елементів побудованої залежності на 1%. Так, зміна обсягу капітальних інвестицій на душу населення в доларах США на 1% спричинить відповідну зміну валового внутрішнього продукту на душу населення на 0,05%. Відповідна зміна обсягу утворених

відходів на душу населення супроводжуватиметься зміною результативного показника на 0,11%.

Безумовно, проведені розрахунки свідчать про те, що для розвитку національної економіки в цілому та аграрного виробництва зокрема потрібні значні інвестиції, для обґрунтування доцільності яких необхідно брати до уваги еколого-соціо-економічні критерії – тобто, орієнтуватися на сталий розвиток.

Сутність поняття «сталий розвиток» розкривається в багатьох наукових публікаціях (табл. 1).

Таблиця 1.

Трактування сутності поняття «сталий розвиток»

Автор	Трактування сутності
Брундтланд Г. Х., Халид М., Аньели С. и др. [18]	розвиток, що відповідає потребам нинішніх поколінь без шкоди для майбутніх поколінь
Загорський В. С. [19]	збалансованість системи для забезпечення екологічних, соціальних та економічних інтересів
Федунь Ю. Б. [20]	спроможність систем (економічної, екологічної та соціальної) ефективно виконувати властиві їм функції
Куспляк Г. І., Куспляк І. С. [21, с. 14]	еволюційний процес змін при взаємозв'язку соціального, екологічного та економічного векторів
Стегней М. І. [22, с. 37]	розвиток в межах господарської (екологічною) місткості природного середовища, що не вносить безповоротних змін в природу і не створює загроз для скільки завгодно тривалого існування людини як біологічного виду homo sapiens.

Джерело: складено авторами на основі опрацювання літературних джерел

На основі опрацювання літературних джерел сформульоване власне трактування сутності поняття «сталий розвиток» як узгодженості екологічних, соціальних та економічних інтересів суспільства.

Для обґрунтування доцільності, можливості та ефективності реалізації інвестиційного проєкту традиційно проводять комерційний, технічний, екологічний, інституційний, соціальний, фінансовий, економічний аналізи та аналіз ризику. Вважаємо, що результати їхнього проведення повинні більш тісно пов'язуватись із глобальними цілями сталого розвитку – екологічним балансом зовнішнього середовища, соціальним прогресом суспільства та економічним процвітанням населення та країни в цілому. На рис. 5 наведений взаємозв'язок результатів, отриманих на етапах розробки інвестиційного проєкту.

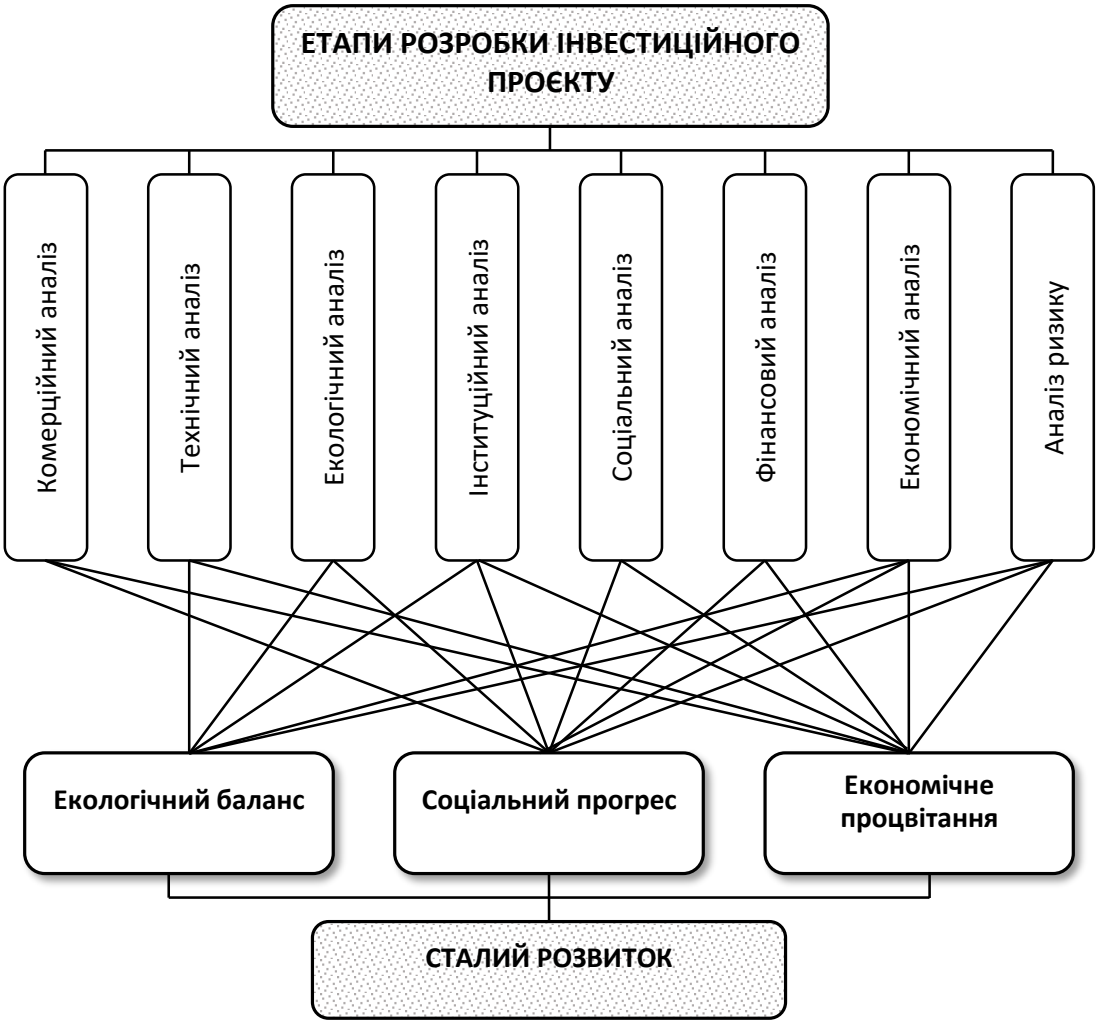


Рисунок 5. Зв'язок результатів етапів розробки інвестиційного проєкту з глобальними цілями сталого розвитку

Джерело: розроблено авторами на основі власних досліджень

Так, в ході проведення **комерційного аналізу** інвестиційного проєкту, метою якого є визначення його комерційної спроможності, необхідно визначити соціальні наслідки, а також можливості отримання додаткового доходу, що дозволив би покрити витрати на проєкт.

Технічний аналіз проєкту вимагає обґрунтування його технічної і технологічної життєздатності, в тому числі визначення таких характеристик, які впливають на навколишнє середовище, а також капітальні та експлуатаційні витрати.

Екологічний аналіз інвестиційного проєкту, крім безпосередньо екологічного навантаження, повинен враховувати соціальну складову – умови та безпеку праці [23].

Інституційний аналіз проєкту повинен забезпечити оцінку законодавчих та нормативних актів, що впливають на проєкт, а також узгодити цілі проєкту з інтересами його учасників, в тому числі

еколого-соціо-економічними, що відповідатиме орієнтації проєкту на сталий розвиток.

Соціальний аналіз проєкту повинен дослідити рівень його підтримки з боку населення з точки зору зміни кількості робочих місць, поліпшення умов праці, зниження травматизму та професійних захворювань [23].

Фінансовий аналіз повинен оцінити фінансові результати «без проєкту» і «з проєктом», визначити потребу в фінансуванні, оптимізувати і порівняти витрати та вигоди проєкту з врахуванням соціальних наслідків проєкту.

Економічний аналіз інвестиційного проєкту призваний передбачити його національну привабливість, економічну цінність на основі альтернативної вартості.

Аналіз ризику повинен передбачити погіршення можливостей реалізації проєкту, підвищення цін, зміну валютних курсів, непрогнозовану інфляцію тощо. Він повинен враховувати екологічні, соціальні та соціальні наслідки.

Безумовно, для відповідної орієнтації інвестиційних проєктів необхідні вдосконалення та корегування існуючого механізму регулювання інноваційного потоку в національну економіку, цільове фінансування та всебічна державна підтримка проєктів даного спрямування, а також забезпечення механізмів захисту від різноманітних видів ризику.

Висновки. Таким чином, на основі проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що інвестиційна активність в країні, нажаль, негативно впливає на навколишнє середовище, що відбивається на головному компоненті соціального середовища – якості життя людей.

Сталий розвиток, як головна концепція економічної політки, повинен бути головним орієнтиром в розробці інвестиційних проєктів аграрного виробництва. Для цього пропонуємо кожний з етапів розробки інвестиційного проєкту фокусувати на екологічному балансі, соціальному прогресі та економічному процвітанні.

Перспективами подальших досліджень є вдосконалення та корегування існуючого механізму регулювання інвестиційної діяльності, впровадження результатів науково-дослідної роботи в практику реалізації аграрних інвестиційних проєктів.

Список використаних джерел

1. Карпович А. А., Самсонова В. В., Шевченко Н. Ю. Методика інтегральної оцінки інвестиційних проектів, для розробки або реалізації яких надається державна підтримка. *Біоресурси і природокористування.* 2014. Т. 6, № 1-2. С. 138-145.

2. Печончик Т. І., Оксюта Н. С. Розроблення інвестиційних проектів як механізм ефективного використання бюджетних коштів і коштів інвесторів. *Дороги і мости*. 2017. Вип. 17. С. 102-114.

3. Пилипяк О. В. Особливості та проблеми застосування методу стандартизації показників у комплексній оцінці інвестиційних проектів. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки.* 2020. № 5. С. 144-150. DOI: 10.31891/2307-5740-2020-286-5-26.

4. Стрєльніков Р. М. Формалізація моделі впливу інституціональних факторів при розробці та реалізації інвестиційних проектів у часі. *Проблеми економіки*. 2018. № 3. С. 171-177.

5. Environmentally and Socially Oriented Investments on Sustainable Development of Rural Areas / V. Aranchiy et al. *Journal of Environmental Management and Tourism.* 2021. Vol. 12, № 2. P. 321-330. DOI: 10.14505//jemt.v12.2(50).02.

6. Labib Y. N., Lotfallah W. B., Hanna A. S., Boulos N. W. Development and Application of Performance Index for Comparative Assessment of Public Capital Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*. 2021. Vol. 147, № 2. N 04020175. DOI: 10.1061 / (ASCE) CO.1943-7862.0001992.

7. Yue Q., Guo P. Managing agricultural water-energy-food-environment nexus considering water footprint and carbon footprint under uncertainty. *Agricultural Water Management*. 2021. Vol. 252. N 106899. DOI: 10.1016 / j.agwat.2021.106899.

8. The advent of modern solar-powered electric agricultural machinery: A solution for sustainable farm operations / S. Gorjian et al. *Journal of Cleaner Production*. 2021. Vol. 292. N 126030. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2021.126030.

9. Conservation agriculture, a selective model based on emergy analysis for sustainable production of shallot as a medicinal-industrial plant / Z. Amiri et al. *Journal of Cleaner Production.* 2021. Vol. 292. N 126000. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2021.126000.

10. Pamučar D., Behzad M., Božanić D., Behzad M. Decision making to support sustainable energy policies corresponding to agriculture sector: Case study in Iran's Caspian Sea coastline. *Journal of Cleaner Production.* 2021. Vol. 292. N 125302. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2020.125302.

11. Грицаєнко Г. І., Грицаєнко І. М. Системний аналіз інвестицій в енергоефективність національної економіки. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-9.

12. Грицаєнко Г. І., Грицаєнко М. І. Екологічні інвестиції як пріоритетний напрямок розвитку аграрної сфери економіки. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2021. Вип. 11, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2021-1-12.

13. Hrytsaienko H., Hrytsaienko I., Bondar A., Zhuravel D. Mechanism for the Maintenance of Investment in Agriculture. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. P. 29-40. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_4.

14. Lovarelli D., Bacenetti J., Fiala M. Effect of local conditions and machinery characteristics on the environmental impacts of primary soil tillage. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 140. P. 479-491. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2016.02.011.

15. Pryor S. W., Smithers J., Lyne P., van Antwerpen R. Impact of agricultural practices on energy use and greenhouse gas emissions for South African sugarcane production. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 1. P. 137-145. DOI: 10.1016/j.jclepro.2016.09.069.

16. Alimagham S. M., Soltani A., Zeinali E., Kazemi H. Energy flow analysis and estimation of greenhouse gases (GHG) emissions in different scenarios of soybean production (Case study: Gorgan region, Iran). *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 149. P. 621-628. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2017.02.118.

17. A high temporal-spatial resolution air pollutant emission inventory for agricultural machinery in China / J. Lang et al. *Journal of Cleaner Production*. 2018. Vol. 183. P. 1110-1121. DOI: 10.1016 / j.jclepro.2018.02.120.

18. Развитие международного экономического сотрудничества: проблемы окружащей среды: доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды развития «Наше общее будущее» / Генеральная Асамблея ООН. 1987. 412 с. URL: https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf (дата звернення: 13.10.2021).

19. Загорський В. С. Концептуальні основи формування системи управління сталим розвитком еколого-економічних систем: монографія. Львів: ЛРІДУ НАДУ, 2018. 336 с.

20. Федунь Ю. Б. Політика сталого еколого-економічного розвитку України в умовах інтеграції до ЄС: автореф. дис. ... канд. екон. наук: 08.00.02 / Львів. нац. ун-т ім. І. Франка. Львів, 2011. 20 с.

21. Куспляк Г. І., Куспляк І. С. Сталий розвиток: етапи становлення, сутність поняття, основні вектори та інтерфейси. *Державне будівництво*. 2020. № 1. DOI: 10.34213/db.20.01.08.

22. Стегней М. І. Механізм екологічно сталого розвитку сільських територій: сутність, складові та функції. *Економічний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2016. Вип. 1. С. 36-42.

23. Hrytsaienko M., Rogach Y., Zorya M. Location of Social Capital in the Labor Protection of the Enterprise. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. P. 41-52. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_5.

Стаття надійшла до редакції 14.10.2021 р.

H. Hrytsaienko, I. Hrytsaienko
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DEVELOPMENT OF INVESTMENT PROJECTS OF AGRICULTURAL PRODUCTION: ORIENTATION ON SUSTAINABLE DEVELOPMENT

Summary

The priority of Ukrainian economic policy is the development of the agricultural production, the concept of sustainable development of which should reflect the real environmental, social and economic situation and be the main guideline in the development of investment projects.

In the process of research dialectical methods of cognition were used, including monographic (analysis of publications on the development of investment projects and sustainable development) and abstract-logical (theoretical generalizations and formulation of conclusions) methods.

The study found a directly proportional relationship between total capital investment in dollar terms and pollutant emissions in Ukraine. This fact has led to the argument that investment projects require a more thorough study of environmental issues, which are also reflected in the main component of the social environment - the quality of life.

The necessity of orientation of the corresponding investment projects on sustainable development is argued. To do this, on the basis of the study of literary sources formulated its own interpretation of the essence of the concept of "sustainable development" as a coherence of environmental, social and economic interests of society.

It is proposed to focus each of the individual stages of investment project development on environmental balance, social progress and economic prosperity. In addition, for the appropriate orientation of investment projects, the need to improve and adjust the existing mechanism for regulating the flow of innovation into the national economy, targeted funding and comprehensive state support for projects in this area, as well as providing mechanisms to protect against various risks.

Prospects for further research are to improve and adjust the existing mechanism for regulating investment activities, the implementation of research results in the practice of investment projects.

Key words: sustainable development, agricultural production, capital investments, investment projects, emissions of pollutants, ecological balance, social progress, economic prosperity.

Г. И. Грицаенко, И. Н. Грицаенко
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

РАЗРАБОТКА ИНВЕСТИЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА: ОРИЕНТАЦИЯ НА УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ

Аннотация

Цель статьи – исследовать сущность устойчивого развития и объективную необходимость ориентации на него при обосновании целесообразности инвестиционных проектов аграрного производства.

В процессе исследования использованы диалектические методы познания, в том числе монографический (анализ публикаций по вопросам разработки

инвестиционных проектов и устойчивого развития) и абстрактно-логический (теоретические обобщения и формулирования выводов) методы.

Исследована взаимосвязь капитальных инвестиций и выбросов загрязняющих веществ. Аргументирована необходимость ориентирования инвестиционных проектов аграрного производства на устойчивое развитие. Предложено согласовывать результаты каждого этапа разработки инвестиционных проектов с глобальными целями устойчивого развития.

Ключевые слова: устойчивое развитие, аграрное производство, капитальные инвестиции, инвестиционные проекты, выбросы загрязняющих веществ, экологический баланс, социальный прогресс, экономическое процветание.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-21

УДК [665.73+665.753](504.06)

О. В. Кофанова[1], д. п. н., к. х. н. ORCID: 0000-0002-9851-6392
О. Є. Кофанов[1], к. т. н., к. е. н. ORCID: 0000-0003-2181-9288
А. О. Синяговський[2]
В. А. Іванов[2]
А. І. Гузан[1] ORCID: 0000-0001-5080-2632
А. Ю. Борсук[1] ORCID: 0000-0002-2799-0919
[1]*Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»,*
[2]*Національний авіаційний університет*
e-mail: alexina555@gmail.com

КОНТРОЛЬ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ, ПАЛИВНИХ КОМПОЗИЦІЙ І ВІДНОВЛЕНИХ ОЛИВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕКСПРЕС-МЕТОДІВ

Анотація. У роботі проаналізовано роль автотранспортного комплексу в економічному та соціальному розвитку країни, забезпеченні її сталого розвитку. Зроблено висновок щодо необхідності підвищення рівня екологічної безпеки країни шляхом забезпечення відповідності якості використовуваних паливно-мастильних матеріалів (ПММ) нормативним документам, регенерації ПММ та контролю фізико-хімічних показників відновлених нафтопродуктів. Обґрунтовано методологію проведення досліджень, побудовано калібрувальні залежності для встановлення показників густини d^t і кута заломлення світла n_D^t моторних палив, інших ПММ тощо.

На основі денсиметричних і рефрактометричних досліджень обґрунтовано доцільність застосування експрес-методів контролю фізико-хімічних показників моторних палив і олив, як товарних, так і відновлених. Побудовано регресійну математичну модель залежності густини ПММ та деяких інших речовин від показника заломлення світла; за значенням коефіцієнту детермінації доведено високу прецизійність побудованої моделі.

Отже, знаючи показник заломлення n_D^t палива або іншого ПММ (характеристика системи, яка легко вимірюється), за запропонованою методикою можна отримати величини густини нафтопродуктів і на цій основі спрогнозувати основні експлуатаційні та еколого-економічні

© О. В. Кофанова, О. Є. Кофанов, А. О. Синяговський, В. А. Іванов, А. І. Гузан, А. Ю. Борсук

характеристики двигуна. Це зумовлено тим, що у певному інтервалі значень чим менша величина густини палива d^t, тим кращими будуть умови розпилення паливно-повітряної суміші (ППС) в камері згоряння двигуна.

Однак і надмірне підвищення густини палива є небажаним, оскільки це спричинить збільшення розмірів крапель, погіршуючи тим самим процес згоряння ППС. Це, в свою чергу, призведе до перевищення витрат палива, підвищення показника димності й зростання концентрації шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна.

Ключові слова: паливно-мастильні матеріали, моторне паливо, моторні оливи, відновлені паливно-мастильні матеріали, фізико-хімічні характеристики моторних палив, денсиметрія, рефрактометрія

Постановка проблеми. Відповідальне ставлення до проблем захисту навколишнього природного середовища (НПС), зменшення шкідливого, руйнівного, впливу на нього з боку людини, раціональне використання природних ресурсів і сталий розвиток усіх складових біосфери є актуальними завданнями сучасного розвитку суспільства.

Автотранспорт відіграє важливу роль у соціальному і економічному розвитку будь-якої країни світу, проте саме він створює і додаткові ризики погіршення якості атмосферного повітря, техногенного забруднення придорожніх територій, особливо у великих містах і передмістях, у місцях концентрування великої кількості автотранспортних засобів (АТЗ) (автопаркінги, гаражі, дорожні розв’язки, затори тощо).

Таким чином, пріоритетною умовою збалансованого розвитку суспільства й біосфери є запобігання негативному впливу автотранспортного комплексу (АТК) та його інфраструктури на повітряне і ґрунтове середовища, поверхневі і підземні води, на здоров’я людей та біорізноманіття.

Одним зі способів, що надає змогу ефективно впливати на процеси згоряння моторного палива (МП) у камері згоряння двигуна і тим самим обмежувати викиди шкідливих речовин (ШР) у повітряне середовище, на придорожні території тощо є підвищення якості паливно-мастильних матеріалів (ПММ), зокрема, моторних палив і мастил.

Відпрацьовані оливи (ВО) і витоки МП є одними з найпотужніших факторів впливу з боку АТК, що мають надзвичайно негативну дію на всі компоненти НПС у разі їх потрапляння до атмосфери, педосфери чи гідросфери. Зокрема, рівень забруднення гідросфери ВО нафтового походження оцінюють 20 % загального техногенного забруднення (або 60 % забруднення НПС нафтопродуктами) [1].

На жаль, у більшості країн колишнього СРСР переробці і вторинному використанню підлягають у середньому лише 15 % відпрацьованих нафтових олив. Сьогодні тільки Україна споживає понад 1 млн т/рік первісних нафтових олив, офіційно збираючи й перероблюючи тільки 500 тис. т/рік відпрацьованих нафтопродуктів [2]. Отже, реальний масштаб збитку, який наноситься економіці, НПС і здоров'ю населення такою безвідповідальністю багатьох суб'єктів господарювання, навіть важко оцінити. За даними експертів, в Києві тільки на автомобільному транспорті щорічно зливається до 20 тис. тон ВО [3].

Важливим аспектом забруднення НПС відпрацьованими оливами і витоками МП є наявність в них присадок різного типу і призначення, компоненти яких, у свою чергу, спричинюють додаткові ризики для здоров'я людей і забруднення оточуючого середовища.

Отже, встановлення показників якості нафтопродуктів, особливо за допомогою експрес-методів, надасть змогу не тільки контролювати якість товарних МП, олив та інших ПММ, а й робити експрес-аналіз фізико-хімічних характеристик відновлених продуктів, зокрема, МП чи олив (мастил).

Аналіз останніх досліджень. Наша держава належить до країн, які мають дефіцит власних енергоносіїв. Тому нераціональне використання паливно-енергетичних ресурсів призводить не тільки до додаткових фінансових витрат на їх імпорт, а й підвищує її енергетичну залежність, погіршує стан енергетичної безпеки нашої країни.

Останніми роками багато вчених як в Україні, так і за кордоном присвятили свої роботи дослідженню властивостей моторних палив і олив, впливу ПММ і АТК у цілому на компоненти довкілля, здоров'я людей тощо. Йдеться, зокрема, про роботи таких учених, як О. М. Адаменко [4], О. І. Василькевич [5], С. М. Девянін [6], В. П. Матейчик [7], М. М. Патрахальцев [8], Л. Д. Пляцук [9], В. О. Хрутьба [10], I. A. Resitoglu [11], J. Merkisz [12], V. Juric [13], G. Wcisło [14] та ін.

Науковці дійшли висновку, що одним зі шляхів зменшення шкідливого впливу на всі компоненти НПС від забруднення ШР викидів двигунів АТЗ є модифікування складу і підвищення якості використовуваних нафтопродуктів. Також перспективними напрямами підвищення екологічності двигунів АТЗ і досягнення їх паливної економічності визнано їх модернізацію, застосування систем рециркуляції відпрацьованих газів, каталітичних нейтралізаторів, розробку новітніх конструкцій автомобілів з покращеними екологічними характеристиками, організацію раціонального дорожнього руху, використання екологічно сприятливих видів моторних палив, зокрема, біопалив, сумішевих палив тощо [15–17].

Проте, незважаючи на напрацювання зазначених вчених, аналіз літературних джерел показав, що розробка підходів до експрес-оцінювання і контроль якості ПММ, які можна проводити на місці використання нафтопродукту, залишається актуальною задачею, розв'язання якої є підґрунтям для підвищення рівня екологічної безпеки повітряного середовища і придорожніх територій міст.

Формулювання цілей статті. Метою дослідження є розробка експрес-методу аналізу фізико-хімічних властивостей (зокрема, густини та коефіцієнта заломлення) товарних і відновлених паливно-мастильних матеріалів.

Основна частина. Властивості та якість МП великою мірою впливають на токсичність відпрацьованих газів, а також економічні та експлуатаційні показники двигуна. У свою чергу, економічні, екологічні та експлуатаційні показники ПММ визначаються їх хімічним та фракційним складом, а тому безпосередньо залежать від їх фізико-хімічних характеристик. В. Я. Чабанним [18] доведено, що при збільшенні у МП умісту важких фракцій, як правило, спостерігається зростання показника димності відпрацьованих газів, особливо в дизельних двигунах. Окрім того, підвищуються витрати палива, а, отже, водночас знижується економічність двигуна; погіршуються умови пуску; відбувається посилене нагароутворення і закоксовування форсунок, підвищується знос деталей. Але й надмірне полегшення фракційного складу МП теж є небажаним, оскільки при цьому спостерігається певне погіршення пускових властивостей як через зменшення в'язкості палива, так і через збільшення жорсткості роботи двигуна та погіршення деяких інших важливих характеристик.

Фізико-хімічні характеристики палив, олив (мастил) та інших ПММ, як правило, встановлюються в лабораторних умовах і слугують для первинного або контрольного оцінювання якості нафтопродукту у місцях виробництва чи застосування. Методи, які найчастіше застосовуються під час аналізу якості ПММ, є, як правило, трудомісткими, дорогими і потребують доволі значних витрат часу на проведення аналізів. З їх допомогою не можна отримати прецизійні дані щодо якості нафтопродукту і прогнозування впливу різних його складових на ці показники. Крім того, такі дослідження є статичними, оскільки між відбором проби та її аналізом у лабораторних умовах зазвичай проходить певний час.

У нашому дослідженні як один з методів експрес-аналізу характеристик ПММ було запропоновано оптичний метод фізико-хімічного аналізу – метод рефрактометрії, за допомогою якого визначали показники заломлення світла n_D^{20} нафтопродуктів та інших речовин при переході з одного середовища в інше [19].

Фізичний зміст відносного показника заломлення (відносно повітря) полягає в тому, що він є відношенням швидкості поширення світла в 1-му середовищі v_1 до швидкості поширення світла в 2-му середовищі v_2. Тобто відносний показник заломлення світла показує, у скільки разів швидкість світла в 1-му середовищі більша (чи менша) від швидкості світла в 2-му середовищі.

Відносний і абсолютний показники заломлення світла пов'язані між собою таким співвідношенням:

$$n = n_{абс}./ 1{,}00027,$$

де 1,00027 – значення абсолютного показника заломлення повітря.

Оскільки показник заломлення світла залежить від довжини хвилі, то існує безліч показників заломлення для одних і тих самих речовин. Але у дослідженнях, як правило, застосовують показник заломлення жовтої лінії натрію (довжина хвилі 589,3 нм) – D-лінія спектра газоподібного натрію, який позначають n_D^t і вимірюють не тільки при монохроматичному світлі, а й за сталої температури (у нашому дослідженні $t = 20 \pm 0{,}05\ ^0C$).

Якщо вимірювання відбувається за іншої температури, то можна вводити температурну поправку:

$$n_D^t = n_D^{20} \pm k \cdot (20 - t),$$

де t – температура досліду, °С;
k – температурна поправка (табличне значення).

Емпірично встановлено, що в інтервалі температур (15...25) °С із зростанням температури на 1 градус n_D зменшується на 0,0005, отже, температурна поправка для показника заломлення світла k у цьому інтервалі температур становить 0,0005.

Рефрактометричні вимірювання у хімічному та фізико-хімічному аналізах широко застосовується для встановлення будови різноманітних сполук, у тому числі й координаційних; вивчення водневого та інших типів зв'язків; ідентифікації хімічних сполук та вивчення їх властивостей; кількісного і структурного аналізу; вимірювання показників заломлення не тільки індивідуальних речовин, а й їх сумішей.

В альтернативній енергетиці рефрактометрію застосовують для визначення олійності технічних олійних культур, оскільки чим більший уміст ненасичених жирних кислот у пробі, тим вища буде його здатність до заломлення світла.

Перевагами цього методу дослідження є простота і швидкість визначення, відносно невисока вартість приладів, а також можливість використання портативних приладів для контролю показників якості ПММ на місці використання чи відновлення.

Експертами доведено [20], що чим більша густина середовища, тим меншою буде в ньому швидкість розповсюдження світла, а тому тим більшим буде n_D^t. Отже, зі зростанням в рідкому середовищі концентрації розчиненої речовини (або речовин) показник заломлення світла n_D^t також буде зростати. Це безпосередньо пов'язано, по-перше, зі збільшенням густини розчину, а, по-друге, зі зростанням взаємодії світла з молекулами, іонами тощо розчиненої речовини, що, в свою чергу, спричинює зменшення швидкості світла v_2 у такому середовищі.

Залежність n_D^t від концентрації речовини в розчині, як правило, має лінійний характер:

$$n_D^t = n_{D0}^t + k \cdot C(X),$$

де n_{D0}^t – показник заломлення світла в середовищі чистої речовини (розчинника) за досліджуваної температури t;

C(X) – концентрація розчиненої речовини в розчині;

k – емпіричний коефіцієнт.

Коливання атмосферного тиску, як правило, незначно позначається на коефіцієнті заломлення світла твердих і рідких речовин, але має значення при вимірюваннях коефіцієнтів заломлення газів.

У нашому дослідженні продемонструємо потенціал застосування вимірювань показника заломлення світла n_D^{20} для контролю деяких фізико-хімічних характеристик як первісних, так і відновлених ПММ, зокрема, для експрес-контролю густини моторних палив та інших паливно-мастильних матеріалів.

Для аналізу рефрактометр УРЛ-1 типу Аббе юстирували за еталонними рідинами, а перед початком роботи перевіряли нульову точку приладу за дистильованою водою. Робили порівняння експериментально визначених за температури 20±0,05 ^{0}C характеристик (n_D^{20}) хімічно чистих органічних речовин – гексану, гептану, циклогексану, бензолу, толуолу тощо, автомобільного бензину, дизельного палива (ДП), керосину (гасу), моторних олив з літературними даними (табл. 1).

Вимірювання повторювали щонайменше 5 разів до збігу результатів. Щоразу на призму рефрактометра додавали свіжу краплину досліджуваної проби; знаходили середнє арифметичне значення паралельних вимірів n_D^{20}. Точність вимірювання складала не

нижче $\pm 2 \cdot 10^{-4}$. За отриманими даними будували калібрувальний графік для визначення показників заломлення світла деяких речовин і ПММ за даними рефрактометричного аналізу (рис. 1).

Таблиця 1.

Довідкові дані щодо показників заломлення світла і густини деяких індивідуальних речовин та ПММ

№	Речовина	Показник	Значення	Літературне джерело
1	Вода дистильована H_2O	n_D^{20}	1,3333	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,997	[22]
2	Етиленгліколь $C_2H_6O_2$	n_D^{20}	1,4385	[21]
		d^{20}, г/см^3	1,113	[22]
3	Карбюраторна моторна олива	n_D^{20}	1,4790	[23]
		d^{20}, г/см^3	0,930	[18]
4	Ріпакова олія	n_D^{20}	1,473	[24]
			1,468	[25]
		d^{20}, г/см^3	0,925	[24]
			0,910	[25]
5	Дизельна моторна олива	d^{20}, г/см^3	0,920	[18]
6	Бензол C_6H_6	n_D^{20}	1,4957	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,879	[22]
7	Дизельне паливо	n_D^{20}	1,465	[23]
		d^{20}, г/см^3	0,832	[18]
			0,830	[7]
8	Реактивне паливо ТС-1	n_D^{20}	1,4468	[23]
		d^{20}, г/см^3	0,815	[18]
			0,775	[26]
			0,7787	[27]
9	Керосин (гас)	n_D^{20}	1,464	[23]
		d^{20}, г/см^3	0,792	[18]

Продовження таблиці 1

10	Бензин автомобільний	n_D^{20}	1,427	[28]
		d^{20}, г/см^3	0,735	[18]
11	Гексан C_6H_{14}	n_D^{20}	1,3754	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,655	[22]
12	Циклогексан C_6H_{12}	n_D^{20}	1,4265	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,890	[22]
13	Етанол C_2H_5OH	n_D^{20}	1,3617	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,805	[29]
14	Ізобутанол $C_4H_{10}O$	n_D^{20}	1,386	[30]
		d^{20}, г/см^3	0,801	[31]
15	Гептан C_7H_{16}	n_D^{20}	1,3889	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,6795	[22]
16	Толуол C_7H_8	n_D^{20}	1,4968	[21]
		d^{20}, г/см^3	0,870	[22]

Однією з головних фізико-хімічних характеристик нафтопродуктів є густина. Вона, хоча і може змінюватися для товарних і відновлених ПММ у досить широких межах, але відіграє важливу роль, оскільки дозволяє оцінити не тільки фізико-хімічні, а й експлуатаційні та екологічні характеристики двигунів, розрахувати об'єм і масу товарного чи відновленого продукту при транспортуванні, зберіганні, обліку тощо.

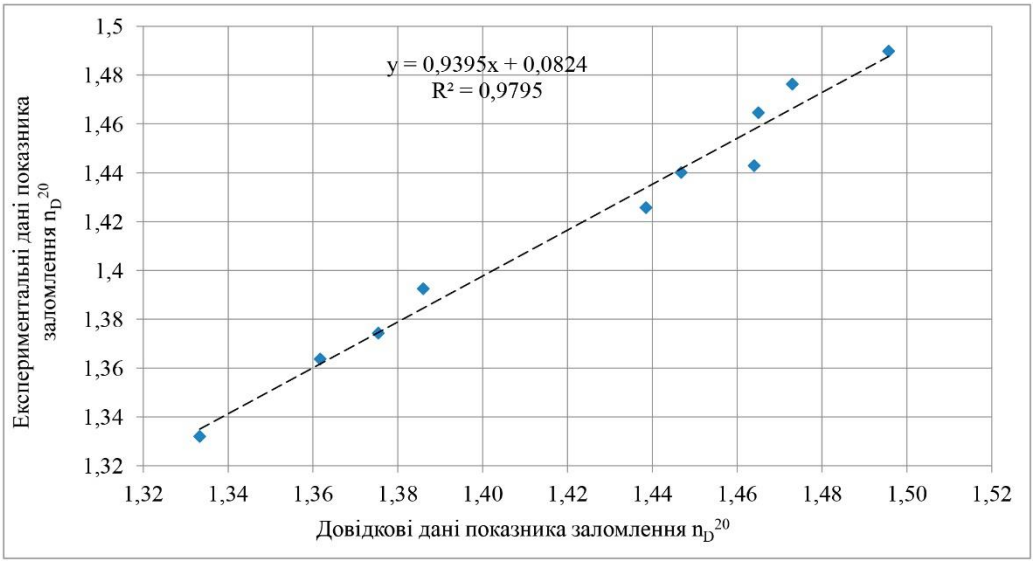


Рисунок 1. Калібрувальний графік для визначення показників заломлення світла деяких речовин та ПММ за даними рефрактометричного аналізу.

У нашому дослідженні для підвищення точності лабораторних вимірювань денсиметричної характеристики – густини досліджуваних паливно-мастильних матеріалів та інших речовин проводили пікнометричним методом. Скляний пікнометр попередньо калібрували за дистильованою водою за температури 20±0,05 ^{0}C, робили порівняння експериментально встановлених величин густини з довідковими (літературними) даними (табл. 1).

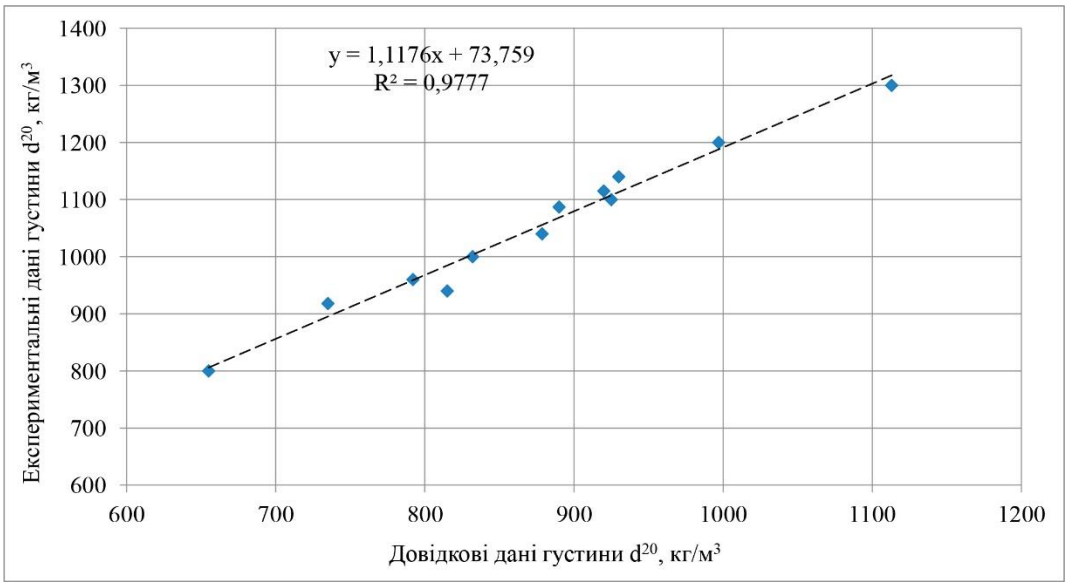


Рисунок 2. Калібрувальний графік для визначення густини ПММ та деяких речовин за даними пікнометричного аналізу.

Обробку результатів вимірювань проводили статистично на рівні значущості $\alpha = 5\ \%$ з використанням MS Office Excel. Будували калібрувальний графік для визначення показників заломлення світла деяких речовин і ПММ за даними рефрактометричного аналізу (рис. 2).

У певному інтервалі значень чим менша густина МП, тим краще відбуватиметься розпилення паливно-повітряної суміші в двигуні АТЗ. Але з підвищенням густини вище за норму спостерігається також і збільшення розмірів крапель палива, погіршення умов згоряння суміші у камері згоряння двигуна, а це, в свою чергу, призводить до погіршення еколого-економічних показників, зокрема, підвищення показника димності й концентрації ШР у відпрацьованих газах двигуна, перевищення витрат моторного палива та інших ПММ.

Отже, розробка експрес-методів встановлення показника густини за зміною, наприклад, коефіцієнта заломлення світла для певного виду ПММ є актуальним і перспективним напрямом, особливо з огляду на

необхідність ретельного контролю й обліку нафтопродуктів при їх використанні, зберіганні і транспортуванні.

На рис. 3 наведено візуалізацію побудованої за методом найменших квадратів (МНК) регресійної моделі, яка описує зміну густини ПММ і деяких речовин залежно від коефіцієнта заломлення світла, виміряного за тієї ж самої температури – 20 ±0,05°С. Як видно з даного рисунку, залежність густини речовин від показника заломлення світла $d^{20}(n_D^{20})$ має лінійний характер з достатньо високим коефіцієнтом детермінації $R^2 = 0,967$, а регресійна модель має такий вигляд:

$$d^{20}(n_D^{20}) = 2194,1 \cdot n_D^{20} - 2214,7 \quad . \qquad (1)$$

Перевірку значимості коефіцієнтів детермінації здійснювали за допомогою критерію Стьюдента у програмному середовищі MS Office Excel. Напрямок взаємозв'язку між залежним показником і незалежною ознакою вважали прямим (позитивним) або оберненим (негативним), враховуючи знак коефіцієнта кореляції r.

Оцінку достовірності побудованої регресійної моделі для оцінювання характеристик досліджуваних ПММ робили за коефіцієнтом детермінації R^2 – чим ближче його значення до одиниці, тим краще підібрана за МНК апроксимаційна (цільова) функція відображає взаємозв'язок між досліджуваними характеристиками.

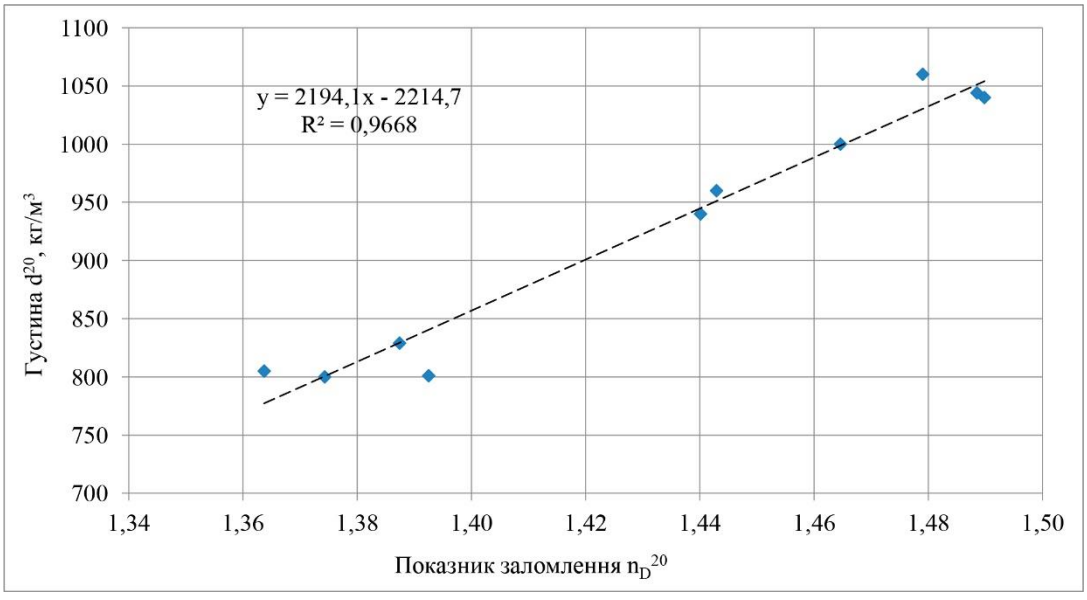


Рисунок 3. Залежність зміни густини d^{20} нафтових ПММ та деяких органічних речовин – складових МП і олив від показника заломлення світла n_D^{20}, виміряного за тієї ж самої температури – 20 ±0,05°С.

Отже, за допомогою регресійної моделі (1) встановлено, що густина і показник заломлення світла нафтових ПММ та деяких інших органічних речовин (складових МП і олив) мають досить сильний зв'язок ($R^2 > 0,9$). Знаючи показник заломлення світла n_D^{20} певного палива чи ПММ (легко вимірювана характеристика), за моделлю (1) можна отримати величини густини нафтопродукту, а на їх основі спрогнозувати основні експлуатаційні та еколого-економічні характеристики двигуна, встановити відповідність відновленого продукту нормативній документації.

Висновки. Таким чином, у роботі:

– проаналізовано роль АТК у економічному та соціальному розвитку країни й забезпеченні її збалансованого розвитку. Зроблено висновок щодо необхідності підвищення рівня екологічної безпеки країни шляхом забезпечення відповідної нормативним документам якості ПММ, їх регенерації та контролю фізико-хімічних показників відновлених нафтопродуктів;

– констатовано, що забруднення компонентів НПС безпосередньо впливає на стан здоров'я людей, життєдіяльність тварин і рослин, ступінь деградації екосистем тощо. У зв'язку з цим запропоновано комплексне використання методів рефрактометрії і денсиметрії як перспективних фізико-хімічних методів для експрес-контролю відповідності фізико-хімічних показників товарних і відновлених ПММ нормативній документації;

– обґрунтовано методологію проведення досліджень, побудовано калібрувальні залежності для встановлення показників густини і кута заломлення світла моторних палив, інших паливно-мастильних матеріалів тощо. На основі денсиметричних і рефрактометричних досліджень обґрунтовано доцільність застосування експрес-методів контролю фізико-хімічних показників моторних палив і олив, як товарних, так і відновлених;

– зазначено, що від фракційного складу МП залежить його випаровуваність, здатність утворювати якісну паливно-повітряну суміш, а також повнота згоряння і питомі витрати палива, показник димності і токсичність відпрацьованих газів, нагароутворення й закоксовування форсунок, легкість пуску мотора та інші важливі економіко-екологічні та експлуатаційні характеристики;

– за допомогою залежностей $d^{20} = f(n_D^{20})$ для досліджених нафтових паливно-мастильних матеріалів та їх складових побудовано регресійну математичну модель. На основі аналізу коефіцієнту детермінації було доведено її високу прецизійність. Отримана регресійна модель надає можливість за даними фізико-хімічного аналізу спрогнозувати не тільки фізико-хімічні, а й експлуатаційні та екологічні властивості палив і олив, як товарних, так і відновлених.

Список використаних джерел

1. Охорона навколишнього середовища від забруднення нафтопродуктами: навч. посіб. / Шестопалов О. В., Бахарєва Г. Ю., Мамедова О. О. та ін. Х.: НТУ "ХПІ", 2015. 116 с.

2. Корчак Б. О., Гринишин О. Б., Червінський Т. І., Витрикуш Н. М., Нагурський А. О., Іващенко Р. В. Очищення відпрацьованих мінеральних моторних олив кристалічним карбамідом. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2020, т. 30, № 1. С. 127–131.

3. Куди дівається відпрацьована моторна олива? *Aftermarket Business Platform autoExpert*: веб-сайт. URL: http://autoexpert-consulting.com/stati/truck-sto/11629-kudi-divayetsya-vidpraczovana-motorna-oliva.html (дата звернення: 25.10.2021).

4. Альтернативні палива та інші нетрадиційні джерела енергії: монографія / О. Адаменко, В. Височанський, В. Льотко, М. Михайлів. Івано-Франківськ: ІМЕ, 2001. 432 с.

5. Специальная присадка для улучшения экологических и экономических показателей автомобильных бензинов / Н. Н. Потапов, Е. М. Лимонник, Н. Б. Степанов, А. И. Василькевич, А. Е. Кофанов. *Енергетика : економіка, технології, екологія.* 2011. № 2 (29). С. 109–114.

6. Марков В. А., Девянин С. Н. Кукурузное масло как противодымная присадка к нефтяным топливам. *Транспорт на альтернативном топливе.* 2011. № 5 (23). С. 6–10.

7. Матейчик В. П., Никонович С. О. Розробка методики визначення витрат палива та масових викидів забруднюючих речовин транспортним потоком. *Вісник Нац. транспортного ун-ту.* К.: НТУ. 2011. № 24 (2). С. 93−99.

8. Патрахальцев Н. Н. Регулирование ДВС методом изменения физико-химических свойств моторного топлива. *Транспорт на альтернативном топливе*. 2010. № 3 (15). С. 26−32.

9. Пляцук Л. Д., Васькін Р. А., Васькіна І. В. Моделювання поширення викидів від автотранспорту у селітебних територіях міст. *Екологічна безпека.* Кременчук: КрНУ ім. М. Остроградського, 2011. № 2 (12). С. 36–38.

10. Екологізація транспортної системи за принципами сталого розвитку / В. О. Хрутьба, О. В. Спасіченко, В. І. Грищук, Л. М. Старинець. *Вісник Нац. транспортного ун-ту*. К.: НТУ 2017. Вип. 2 (38). С. 221−230.

11. Resitoglu I. A., Altinisik K., Keskin A. The pollutant emissions from diesel-engine vehicles and exhaust aftertreatment systems. *Clean Technologies and Environmental Policy.* 2014. v. 17, issue 1. P. 15–27. DOI : 10.1007/s10098-014-0793-9.

12. Merkisz J., Pielecha J., Radzimirsky S. New trends in emission control in the European Union. Springer tracts on transportation and traffic; v. 4. London: Springer Int. Publ. Switzerland, 2014. 175 p. DOI: 10.1007/978-3-319-02705-0.

13. Juric V., Zupanovic D. Ecological Impacts of Diesel Engine Emissions. *PROMET – Traffic&Transportation.* 2012. v. 24, issue 2. DOI : 10.7307/ptt.v24i2.287.

14. Wcisło G. Determination of the impact of FAME biocomponent on the fraction composition of diesel engine fuels. *Combustion Engines.* 2013. Issue 154(3). P. 1098–1103.

15. 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.

16. Кофанова О. В., Кофанов О. Є. Застосування методу "фізико-хімічного регулювання" властивостей моторного палива для підвищення екологічності автотранспортних засобів. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2014. № 3(37). С. 88−97.

17. Кофанова О. В., Кофанов О. Є. Механізми посилення екологічності вітчизняного автотранспорту за рахунок забезпечення його сталого розвитку. *Стратегія розвитку України: економіка, соціологія, право.* 2015. 1. С. 67−73.

18. Паливо-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення: навч. посіб. Кн. 1. Паливо-мастильні матеріали і технічні рідини / за ред. В. Я. Чабанного; 2-ге вид., перероб. та доп. Кіровоград: Центрально-Українське вид-во, 2008. 353 с.

19. Иоффе Б. В. Рефрактометрические методы анализа в химии. Л. : Химия, 1983. 352 с.

20. Васильев В. П. Аналитическая химия. Физико-химические методы анализа. М. : Дрофа, 2004. 384 с.

21. Refractive Index Database. Refractiveindex.info: веб-сайт. URL: https://refractiveindex.info (дата звернення: 29.10.2021).

22. Explore Chemistry. *National Library of Medicine, National Center for Biotechnology Information*: веб-сайт. URL: https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov (дата звернення: 29.10.2021).

23. Kanyathare B., Peiponen K-E. Hand-Held Refractometer-Based Measurement and Excess Permittivity Analysis Method for Detection of Diesel Oils Adulterated by Kerosene in Field Conditions. *Sensors*. 2018. № 18(5). С. 1−13. DOI: 18. 10.3390/s18051551.

24. Physical Properties of fats and Oils. *Deutsche Gesellschaft für Fettwissenschaft e.V.*: веб-сайт. URL:

http://www.dgfett.de/material/physikalische_eigenschaften.pdf (дата звернення: 27.10.2021).

25. Хамракулова М. Х., Иброхимова Ф. Э. Изучение местного рапсового масла для пищевой цели. *Universum: технические науки: электрон. научн. журн.* 2021. 3(84). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/11405.

26. Маврицкий В. И., Косушкин К. Г., Зайцев В. П. Влияние вида топлива на летно-технические характеристики вертолетов семейства Ми-8. *Транспорт на альтернативном топливе.* 2011. № 5 (23). С. 13–15.

27. Лахін Б. Ф., Терсков Я. Є. Кореляція між в'язкістю і густиною реактивних палив. *Наукоємні технології : Науковий журнал*. 2010. № 1. Т. 5. С. 36-39.

28. Butcher A., Aleiferis P., Richardson D. Development of a Real-Size Optical Injector Nozzle for Studies of Cavitation, Spray Formation and Flash Boiling at Conditions Relevant to Direct-Injection Spark-Ignition Engines. *International Journal of Engine Research*. 2013. № 14. С. 557−577. DOI: 10.1177/1468087413497004.

29. Етиловий спирт. *Фармацевтична енциклопедія*: веб-сайт. URL: https://www.pharmencyclopedia.com.ua/article/607/spirt-etilovij (дата звернення: 29.10.2021).

30. Names and Identifiers. *CAS Database*: веб-сайт. URL: https://www.chembk.com/en/chem/t-Butyl%20Alcohol (дата звернення: 28.10.2021).

31. Спирти. Феноли. Похідні спиртів. *Кафедра екології, географії та туризму*: веб-сайт. URL: http://kegt.rshu.edu.ua/images/dustan/LVX9.pdf (дата звернення: 27.10.2021).

Стаття надійшла до редакції 9.12.2021 р.

О. В. Кофанова [1], О. Е. Кофанов [1], А. О. Синяговский [2], В. А. Иванов [2], А. И. Гузан [1], А. Ю. Борсук [1]

[1]Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»,

[2]Национальный авиационный университет

КОНТРОЛЬ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЛИВ, ПОЛИВНЫХ КОМПОЗИЦИЙ И ВОССТАНОВЛЕННЫХ МАСЛ С ПОМОЩЬЮ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ

Аннотация

В работе проанализировано роль автотранспортного комплекса в социально-экономическом развитии страны и обеспечении ее устойчивого, сбалансированного развития. Сделан вывод, что для повышения экологической

безопасности страны необходимо улучшать качество используемого топлива и горюче-смазочных материалов (ГСМ), регенерировать отработанные ГСМ и жестко контролировать их физико-химические показатели. Описана методология проведения исследований, построены калибровочные зависимости для определения плотности d^t и показателя преломления света n_D^t моторного топлива и других ГСМ.

На основе денсиметрических и рефрактометрических исследований обоснована целесообразность использования экспресс-методов контроля физико-химических характеристик моторных топлив, смазочных материалов, причем, как товарных, так и восстановленных. Построена регрессионная модель зависимости плотности нефтяных ГСМ и некоторых других веществ от показателя преломления света; на основе анализа коэффициентов детерминации модели доказана ее высокая прецизионность.

Таким образом, зная показатель преломления n_D^t топлива или другого ГСМ (легко измеряемая характеристика), в соответствии с предлагаемым нами способом можно получить плотности нефтепродуктов и на этой основе предсказать основные эксплуатационные и эколого-экономические характеристики двигателя. Эта принципиальная возможность обусловлена тем, что в определенном диапазоне значений, чем меньше плотность топлива d^t, тем лучше будет происходить распыление топливно-воздушной смеси (ТВС) в двигателе.

В то же время чрезмерное увеличение плотности топлива приведет к увеличению размера капель, тем самым вызывая ухудшение условий сжигания ТВС. Кроме того, это приведет к избыточному расходу топлива, увеличению дымности и концентрации вредных веществ в отработавших газах.

Ключевые слова: топливно-смазочные материалы, моторное топливо, моторные масла, регенерированные топливно-смазочные материалы, физико-химические характеристики моторных топлив, денсиметрия, рефрактометрия

O. Kofanova[1], O. Kofanov[1], A. Sinyagovskiy[2], V. Ivanov[2], A. Guzan[1], A. Borsuk[1]
[1]National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
[2]National Aviation University

CONTROL OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF FUELS, FUEL COMPOSITIONS AND RECOVERED OILS USING EXPRESS METHODS

Summary

The role of the motor transport complex in the economic and social development of the country, as well as in the achievement of its sustainable development was analyzed in the paper. It was concluded that it is necessary to increase the level of environmental safety of the country by fuel and lubricants regeneration, control of physicochemical properties of the recovered petroleum products and by ensuring compliance of the quality of fuel and lubricants with the regulatory documents. The research methodology was substantiated, calibration dependencies have been developed for the determination of the density value d^t and the angle of light refraction n_D^t of motor fuels, other fuel and lubricants, etc.

The expediency of usage of express methods of control of physical and chemical properties of motor fuels and oils (both new and restored ones) was substantiated on the basis of the densimetric and refractometric researches. A regression mathematical model of the dependence of the density of fuel and some other substances on the refractive index

of light was developed; the precision of the developed model was proved by the value of the determination coefficient.

Therefore, according to the proposed method, knowing the value of the refractive index n_D^t of fuels and oils (characteristic of the system, which can be easily measured), the density of petroleum products can be determined. Then its value can be used to predict the main operational and ecological characteristics of the engine. This is due to the fact that in a certain range of values, the lower is the value of the fuel density d^t, the better will be the conditions of spraying the fuel-air mixture in the combustion chamber of the engine.

However, an excessive increase in fuel density is undesirable, as it will increase the size of the drops, thereby worsening the combustion process of the fuel-air mixture. This, in turn, will lead to higher fuel consumption, increased smoke and an increase in the concentration of harmful substances in the engine exhaust gases.

Key words: fuels and lubricants, motor fuel, motor oils, restored fuels and lubricants, physicochemical characteristics of motor fuels, densimetry, refractometry

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-22

УДК 631.363.7

О. О. Дереза, к.т.н. доц. ORCID: 0000-0002-9358-7968
Б. В. Болтянський, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0003-2072-4025
С. В. Дереза, ст. викладач ORCID: 0000-0001-9797-0967
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: serhii.dereza@tsatu.edu.ua

ВИКОРИСТАННЯ МОБІЛЬНИХ КОРМОРОЗДАВАЧІВ - ЗМІШУВАЧІВ НА ФЕРМАХ ВРХ ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ХУДОБИ І ЕКОНОМІЇ КОРМІВ

Анотація. У тваринницькій галузі стан механізації та автоматизації виробництва визначає його технологічний рівень та впливає на його якість та продуктивність праці. Ефективність галузі тваринництва залежить не тільки від племінної роботи та умов утримання тварин, а й від якості годівлі. Це один з найбільш трудомістких процесів у галузі, і вирішують його за допомогою різних технічних засобів, у тому числі мобільних та стаціонарних кормороздавачів. Комплексно вирішувати проблеми годівлі тварин дозволяють мобільні змішувачі-кормороздавачі (міксери), які комплектуються горизонтальними і вертикальними шнеками з ножами для подрібнення, а також оснащені одним або двома вивантаженими лотками, що регулюються по висоті, і реверсивним транспортером.

В даний час для повнораціонного та збалансованого годування великої рогатої худоби (ВРХ) застосування кормороздавачів-змішувачів є економічно необхідною умовою. Застосування змішувачів-кормороздавачів дозволяє знизити реальні витрати праці на приготування та роздавання кормових сумішей, скоротити час на їх роздавання. При цьому покращується якість та поїдання кормів, практично виключене їх вибіркове поїдання, отже, підвищуються надої та покращуються якісні характеристики молока. Завдяки функціональним можливостям кормороздавачів тварини отримують збалансовану за складом суміш, при цьому поїдання покращується на 20-30%, відповідно, підвищується і рентабельність виробництва продукції.

Ключові слова: тваринництво, велика рогата худоба, годівля, раціон, кормова суміш, змішувач-кормороздавач.

© О. О. Дереза, Б. В. Болтянський, С. В. Дереза

Постановка проблеми. У розвинених країнах споживання молочної продукції становить 400 кг на рік на людину, а в Україні – не більше 200. Таким чином, м'ясо-молочне виробництво – дуже перспективна галузь сучасного сільського господарства і для її відродження просто потрібна нова техніка [1,2].

В даний час за кордоном у молочному та м’ясному скотарстві, в основному, використовують технологію годівлі, при якій усі види кормів роздаються тваринам одночасно у вигляді збалансованої по поживності кормової суміші [3,4]. Для цього розроблені і випускаються універсальні транспортно-технологічні комплекси, які отримали назву змішувачів-кормороздавачів (іноді їх ще називають міксерами, кормозмішувачами тощо).

При наявності великого асортименту змішувачів-кормороздавачів часто постають питання, а який кормороздавач краще вибрати для конкретної ферми, як він буде впливати на продуктивність худоби?

Аналіз останніх досліджень. В даний час перехід господарств на сучасні ресурсозберігаючі технології виробництва молока і м’яса здійснюється шляхом використання нових технологічних рішень із утримання, годівлі, напування, догляду та експлуатації худоби. Одним із таких рішень являється застосування на фермах ВРХ кормороздавачів-змішувачів [5-9].

Організація процесу підготовки до згодовування і роздавання кормів є одним із джерел зниження собівартості продукції тваринництва, а отже являється шляхом до енергозбереження. На цей процес витрачається паливно-мастильних матеріалів 2,5…2,8 ГДж на голову протягом року [10,11].

Формулювання цілей статті. Провести аналіз кормороздавачів-змішувачів, які застосовуються при годівлі худоби і визначити їх вплив на продуктивність тварин і економію кормів.

Основна частина. Для досягнення високих показників у тваринництві поряд із закупівлею високопродуктивної племінної худоби та високопродуктивного обладнання для створення скотомісць, потрібен розвиток кормової бази, у тому числі завдяки впровадженню сучасних машин та обладнання для заготівлі, приготування та роздавання кормів. Одним з напрямків підвищення продуктивності ВРХ в даний час є застосування мобільних подрібнювачів-змішувачів-кормороздавачі (далі - кормозмішувачі), що дозволяють приготувати повнораціонні, збалансовані кормосуміші. Досвід використання таких агрегатів у передових господарствах українського АПК і за кордоном показав, що поїдання приготовлених за їх допомогою кормів збільшується на 20-30%. Завдяки складанню з різних кормів оптимального, багатокомпонентного раціону, тварини не вибирають окремі компоненти, а отримують постійну по складу суміш.

Результатом є збільшення надоїв молока з одночасним підвищенням його якості, підвищення стійкості корів до різних захворювань. Крім того, відбувається економія кормів та з'являється можливість покращити основне харчування за допомогою недорогих кормів власного виробництва [12,13].

Світовий ринок кормозмішувачів за останні роки динамічно розвивається. Так, якщо у 1995 році кормозмішувачі випускали всього 5 зарубіжних фірм, то через десять років кількість великих виробників досягла 20. На даний момент у світі понад 120 компаній зайняті їх виробництвом, у тому числі організований випуск і в Україні.

Всі пропоновані на ринку кормозмішувачі по типу змішувальних робочих органів можна розділити на дві групи (рис. 1): з горизонтальними робочими органами (надалі – горизонтальні) та з вертикальними робочими органами (надалі – вертикальні).



а б

Рисунок 1. Технологічна схема кормороздавачів-змішувачів з горизонтальними (а) і вертикальними (б) робочими органами

При цьому обидва типи кормозмішувачів можуть мати виконання зі стороннім завантаженням (80% на європейському ринку), самозавантажувальні причіпні (16% на європейському ринку) і самохідні (4% на європейському ринку) [14,15].

Моделі зі стороннім завантаженням (рис. 2) найбільш ефективні у випадках, коли:

- раціон годування багатокомпонентний;
- траншеї з кормами розташовані поруч один з одним;
- в наявності є завантажувальна техніка.



Рисунок 2. Кормороздавач-змішувач фірми Trioliet із стороннім завантаженням компонентів кормосуміші

Вони відрізняються порівняно невисокою ціною, простотою в обслуговуванні, мінімальною споживаною потужністю, компактністю та зручністю при використанні, а також невисокими вимогами до обслуговуючого персоналу.

До недоліків таких кормороздавачів-змішувачів відносяться: необхідність мати другий трактор та другу людину при експлуатації навантажувальної техніки, після навантаження не залишається гладкої поверхні зрізу і, щоб запобігти окисленню, потрібні великі обсяги забору корму.

Самозавантажувальні кормозмішувачі (рис. 3) оптимальні при використанні коли:

- треба перемішувати мінімальну кількість компонентів корму;
- завантажується мало дрібного корму;
- траншеї з кормами розташовані далеко один від одного;
- відсутній навантажувач у господарстві.



Рисунок 3. Самонавантажувальний кормороздавач-змішувач ИСРК-12Ф

Самозавантажувальні кормозмішувачі дозволяють обійтися одним трактором, здійснювати забір розкиданого силосу, при заборі кормів залишається чиста і гладка поверхня зрізу. До недоліків цих систем можна віднести високу вартість агрегату, втрату часу на сортування кормів при великому обсязі завантаження, погану видимість при завантаженні кормів.

До систем, що самозавантажуються, відносяться кормозмішувачі, оснащені грейферним навантажувачем або фрезою, змонтованими безпосередньо на самому кормороздавачі. На ринку з'явилися і нові системи вертикальних кормозмішувачів, оснащених пристроєм цангового типу, для виїмки з траншей, підбору та навантаження в змішувальну камеру силосної та сінажної маси.

В якості прикладу можна привести кормороздавач ИСРК-12Ф «Господар» оснащений фрезою продуктивністю не менше 50 тонн на годину. Дана фреза при швидкості обертання барабана до 800 оборотів за хвилину може проводити забір кормів з висоти від 20-30 мм, до 4,5

метрів, фреза практично не змінює структуру сінажу та силосу. Модифікація ИСРК-12Г комплектується грейферним навантажувачем.

Самохідні кормозмішувачі (рис. 4) типу Verti Mix 1250 SF Strautmann, Sgariboldi Monocombi, Siloking Selbstfahrer, RMH VSL 14 та інші ефективні тоді коли:

- у господарства в наявності багато вільних грошей;
- чисельність стада не менше 1200 голів;
- в наявності висококваліфікований технічний і обслуговуючий персонал.



Рисунок 4. Самохідний кормороздавач-змішувач фірми Siloking

Безумовно, самохідні кормозмішувачі є найбільш досконалими машинами, що поєднують у собі мобільність, універсальність, гнучкість у застосуванні, простоту та комфортність при роботі, поєднання переваг забірної фрези, високопродуктивного вертикального або горизонтального міксера та рухливість автомобіля. До їх недоліків відноситься лише дуже висока вартість та складність, дорожнеча в обслуговуванні.

В якості прикладу розглянемо самохідний кормозмішувач RMH 280C виробництва фірми SMS (Голландія).

Дана модель являє собою горизонтальний, восьми кубовий кормозмішувач, встановлений на спеціалізованому автомобільному шасі, має передній привід та радіус розвороту – 10,3 м. Машина оснащена фрезою з 97 ножами, шириною 180 см та діаметром 46 см. Продуктивність фрези – 560 кг/год на траві та 840 кг на силосі із кукурудзи. У поєднанні з малими габаритами: висота - 2,3 м і ширина - 2,28 м ця модель є дуже ефективною машиною. Її ціна відповідає ціні 4 – 5 нових вертикальних кормозмішувачів.

В даний час окремі моделі самохідних кормозмішувачів оснащуються відеокамерами заднього виду, джойстиками управління, повнопривідними шасі, шасі з усіма керованими колесами, автоматизованими системами діагностики [16].

При всій різноманітності конструкційного виконання кормозмішувачів виробничників хвилює, насамперед, яким робочим органам віддати перевагу: горизонтальним або вертикальним.

Вертикальні кормозмішувачі – найбільш масові (більше 80% європейського ринку), прості за конструкцією, надійні та ефективні кормозмішувачі, оптимальні за співвідношенням ціна-якість, що особливо важливо для наших господарств. Тенденція розвитку ринку кормозмішувачів показує, що за період з 1998 до 2021 року частка вертикальних кормозмішувачів на європейському ринку збільшилася з 28 до 80 відсотків.

Вони дбайливо змішують компоненти раціону зі збереженням їх структури, нечутливі до попадання сторонніх предметів і чудово справляються з подрібненням тюків та рулонів сіна та соломи. До недоліків слід віднести більш високу енергоємність процесу приготування кормів через його більшу тривалість та меншу рівномірність змішування і роздачі порівняно з горизонтальними [3,5,7,8].

Вертикальні моделі представлені основними виробниками мають ємності бункерів для змішування в діапазоні від 4 до 40 м^3, що дозволяє максимально точно підібрати необхідну модель залежно від поголів'я ВРХ на фермі. Типовим представником таких кормозмішувачів являється модель Verti Mix 1050 "TDS Strautmann" (Німеччина).

Дана модель із модельного ряду 9 – 12 м^3 має об'єм бункера 10,5 м^3, оснащена вертикальним шнеком з 9 композиційними серпоподібними ножами та додатковим скребком, двома гідравлічно регульованими протиріжучими ножами, двоступінчастим редуктором, електронним зважуючим пристроєм з трьома датчиками та гідравлічною системою управління кормороздачею.

Роздавання кормів здійснюється через роздавальні заслінки, і з допомогою роздавального транспортера. При роздаванні кормів втрати становлять трохи більше 1,5%, якість змішування кормів не нижче 90%, час приготування кормосуміші складає 10-12 хвилин.

Наявність у господарствах поголів'я понад 1200 голів ВРХ зажадала створення вертикальних кормозмішувачів з обсягом бункера понад 12 м^3 та двома шнеками. Двошнекові кормозмішувачі практично ідентичні за своїми характеристиками з одношнековими. Однією з їх особливостей є деякі проблеми з переміщенням на типових фермах через більшу довжину.

В якості новинок можна відзначити оснащення вертикальних кормо-змішувачів додатковими ножами для подрібнення коренеплодів та соломорозкидувачами для створення підстилки для ВРХ, датчиками автоматичного наповнення бункера. Двошнекові кормозмішувачі стали оснащуватися незалежним приводом кожного шнека [1,6].

На українському ринку вертикальні кормозмішувачі пропонують фірми KUHN (Франція), DE LAVAL (Швеція), STRAUTMANN, STOLL (Німеччина), JAY LOR (Канада), SECO, ITALMIX,

SGARIBOLDI, FARESIN (Італія), TRIOLET, PEECON (Голландія), ROTO-MIX (США) та інші.

Горизонтальні кормозмішувачі складають сьогодні близько 8% європейського ринку. До їх позитивних сторін можна віднести більш рівномірне перемішування і подачу кормів, дещо менші витрати часу, а отже, і енергії на приготування кормосумішей. До недоліків відносяться погана робота на подрібненні та змішуванні соломистих кормів, чутливість до попадання сторонніх предметів типу каменів, шматків льоду тощо, а також зминання кормів при перемішуванні, що знижує якість готових сумішей.

Горизонтальні кормозмішувачі випускаються із обсягами бункера від 7 до 18 м^3. Як типовий приклад можна привести кормозмішувач ИСРК-12 «Господар».

Названа модель має об'єм 12 м^3 і оснащена: двома горизонтальними шнеками з протилежною навивкою гвинтів і ножами, гідравлічно керованою системою кормороздачі, двоступінчастим редуктором, електронним пристроєм з трьома датчиками.

Роздавання кормів здійснюється за допомогою роздавального транспортера. При роздачі кормів втрати становлять трохи більше 1,5%, якість змішування кормів не нижче 90%, час приготування кормосуміші – 5…10 хвилин.

В Україні горизонтальні кормозмішувачі представлені фірмами PEECON (Голландія). SECO, ITALMIX, FARESIN, STORTI, SGARIBOLDI, FARESIN (Італія), HISPEC (Ірландія). DE LAVAL (Швеція), KUHN (Франція) та інші.

Який же кормороздавач-змішувач для свого господарства вибрати? На думку виробничників серед значимих показників роботи кормороздавачів-змішувачів наступні: рівномірність змішування, ефективність доподрібнення, експлуатаційна якість, необхідна потужність на привод. Ці показники, а також узагальнюючий інтегральний показник роботи деяких кормороздавачів-змішувачів, які експлуатуються на тваринницьких фермах та комплексах України, приводяться в таблиці 1.

Українським науково-дослідним інститутом прогнозування та випробовування техніки і технологій для сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого була проведена порівняльна апробація сучасних деяких кормороздавачів-змішувачів закордонних фірм. Їх показники приводяться нижче в таблиці 2.

Проаналізувавши дані таблиць 1 і 2 видно, що досить прийнятні показники якості роботи у кормороздавача-змішувача фірми «Seko» (Італія).

Таблиця 1

Показники роботи кормороздавачів-змішувачів

Вагомість показника, %	Показник	«De Laval» (Швеція)	«Sqari-boldi» (Італія)	«Kverneiland» (Норвегія)	«Jynkkari» (Фінляндія)	«Kuhn» (Франція)	«Seko» (Італія)
35	Рівномірність змішування	8,5	8,0	8,0	7,0	8,5	9,0
25	Ефективність до подрібнення	6,0	6,0	7,0	8,0	7,0	9,0
25	Експлуатаційна якість	7,0	7,0	8,0	8,0	8,0	9,0
15	Необхідна потужність	5,0	7,0	8,0	10,0	9,0	6,0
	Інтегральний показник	7,0	7,0	7,9	8,0	8,2	8,6

Таблиця 2

Показники якості виконання технологічного процесу кормороздавачами-змішувачами

Показник	Sam 5 490/95 («Seko» (Італія))	Solomix 2 12 VL 3 («Triolet» (Голландія))	Roto-mix 354-12 («Roto-mix» (США))	12 st («De Laval» (Швеція))
Місткість бункера, $м^3$	9	12	12	12
Кількість компонентів кормосуміші	7	10	2	8
Вологість кормів, проц.	75,8	67,2	28,9	47,4
Середній розмір часток, мм	17,8	14,1	6,5	12,1
Об'ємна маса, кг/ $м^3$	420	380	600	220
Рівномірність змішування компонентів суміші, проц.	94,5	91,3	98,4	93,8
Подача кормо суміші під час роздавання, $м^3$/год	140	411	148	296
Рівномірність роздавання кормосуміші, проц.	94,8	95,4	96,2	96,2

Після стислого аналізу основних типів кормозмішувачів розглянемо питання виробництва даного виду техніки у світі та Україні, а також питання ціноутворення на українському ринку.

Вище вже названо основних світових виробників кормозмішувачів, які реалізують свою техніку на ринку України як безпосередньо, так і через дилерів. Проте найперспективнішою для української економіки є організація спільних виробництв кормозмішувачів українськими фірмами за ліцензією європейських компаній. Основні переваги подібного підходу очевидні. По-перше,

виробництво здійснюється з європейських комплектуючих і завдяки нижчим витратам на заробітну плату та мито дозволяє представити на ринок України техніку, яка не поступається за якістю фірмовим зразкам, за ціною значно нижчою. По-друге, наявність українського виробництва дає змогу створити ефективну систему гарантійного обслуговування реалізованої техніки. На жаль, багато господарств, що закупили техніку європейського виробництва, часто стикаються з відсутністю запасних частин та кваліфікованого та своєчасного ремонту.

Аналіз використання кормозмішувачів всіх типів в АПК України вказує також і на основні проблеми, що перешкоджають широкому впровадженню кормозмішувачів у тваринництві:

- відсутність комплексного підходу при впровадженні останніх досягнень технологій у молочному тваринництві;
- людський фактор – проблема безпеки техніки та її правильного використання;
- відсутність коштів у господарств для своєчасного обслуговування наявної техніки та її оновлення;
- наявність ферм старої забудови стримує використання нових технологій як у утриманні ВРХ, так і в приготуванні та роздаванні кормів.

Висновки. Викладені матеріали дозволять раціонально підходити до вибору мобільного змішувача-кормороздавача для конкретної тваринницької ферми.

Список використаних джерел.

1. Болтянський Б.В. Програма і методика експериментальних досліджень визначення енергетичних показників розкидача підстилки. *Науковий вісник ТДАТУ*: Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-7

2. Дереза О.О., Дереза С.В. Обґрунтування параметрів міксера-роздавача кормів. *Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві:* Матеріали VII-ї Науково-технічної конференції. Глеваха, 2019. С. 25-27.

3. Sklyar R., Boltianska L., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes* 2021, 9(7), 1144; https://doi.org/10.3390/pr9071144

4. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms // *Theory, practice and science.* Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.

5. Skliar R., Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning:* Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux, France. 2020. Pp. 478-480.

6. Komar A. Definition of priority tasks for agricultural development. *Multidisciplinary research: The XIV International scientific-practical conference.* Bilbao, Spain 2020. Pp. 431-433.

7. Skliar R. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *// Current issues of science and education. Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. Pp.* 171-176.

8. Boltianskyi O.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience*. Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. C. 27-29.

9. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education*: Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. Pp. 231-233.

10. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.

11. Дереза О.О. Обґрунтування експлуатаційно-технологічних параметрів кормороздавального агрегату. Науковий вісник ТДАТУ. Мелітополь, 2016. Вип.6. т.3. с. 65-72

12. Болтянський Б.В. Патент на корисну модель «Кормороздавач-змішувач» / Болтянський Б.В., Дереза С.В., Дереза О.О., Мовчан С.І. // UA 115225 U, 10.04.2017

13. Париев А., Дробышев О., Коротченко Т. Экспериментальные исследования разбрасывателя подстилки с роторно-пальцевым рабочим органом. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture,* 2016. Vol.18. No.1. 37-42

14. Болтянський Б.В. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б.В. Болтянський, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Н.І. Болтянська. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

15. Болтянська Н.І. Проектування та монтаж техніки агропромислового виробництва»: курс лекцій / Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр. Мелітополь: Видавничо-поліграфічний центр «Люкс», 2020. 196 с.

16. Болтянська Н.І. Машиновикористання техніки в тваринництві: курс лекцій (Частина 2) / Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 160 с.

Стаття надійшла до редакції 8.12.2021 р.

O. Dereza, B. Boltianskyi, S. Dereza
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

USE OF MOBILE FEEDERS - MIXERS ON CATTLE FARMS AS A MEANS OF INCREASING LIVESTOCK PRODUCTIVITY AND FEED SAVINGS

Summary

In the livestock industry, the state of mechanization and automation of production determines its technological level and affects its quality and productivity. The efficiency of the livestock industry depends not only on breeding and housing conditions, but also on the quality of feeding. This is one of the most time-consuming processes in the industry, and it is solved with the help of various technical means, including mobile and stationary feeders. Mobile mixers-feeders (mixers) which are completed with horizontal and vertical screws with knives for crushing, and also are equipped with one or two unloaded trays adjustable on height, and the reversible conveyor allow to solve problems of feeding of animals comprehensively. At present, dairy and meat cattle-breeding abroad mainly use feeding technology, in which all types of feed are distributed to animals at the same time in the form of a nutritionally balanced feed mixture. For this purpose, universal transport and technological complexes have been developed and produced, which are called feed mixers (sometimes they are also called mixers, feed mixers, etc.).

Currently, for complete and balanced feeding of cattle (cattle), the use of feed mixers is an economically necessary condition. The use of feed mixers can reduce the real cost of labor for the preparation and distribution of feed mixtures, reduce the time for their distribution. At the same time, the quality and eating of feeds improves, their selective eating is practically excluded, therefore, milk yields increase and the quality characteristics of milk improve. Thanks to the functionality of feeders, animals receive a balanced mixture in terms of composition, while eating is improved by 20-30%, respectively, increases the profitability of production.

Key words: animal husbandry, cattle, feeding, ration, feed mixture, mixer-feeder.

Е. А. Дереза, Б. В. Болтянский, С. В. Дереза
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОБИЛЬНЫХ КОРМОРАЗДАТЧИКОВ - СМЕСИТЕЛЕЙ НА ФЕРМАХ КРС КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ СКОТА И ЭКОНОМИИ КОРМОВ

Аннотация

В настоящее время для полнорационного и сбалансированного кормления крупного рогатого скота (КРС) применение кормораздатчиков-смесителей является экономически необходимым условием. Применение смесителей-кормораздатчиков позволяет снизить реальные затраты труда на приготовление и раздачу кормовых смесей, сократить время на их раздачу. При этом улучшается качество и поедаемость кормов, практически исключено их выборочное поедание, следовательно, повышаются надои и улучшаются качественные характеристики молока. Благодаря функциональным возможностям кормораздатчиков животные получают сбалансированную по составу смесь, при этом поедание улучшается на 20-30%, соответственно, повышается и рентабельность производства продукции.

Ключевые слова: животноводство, крупный рогатый скот, кормление, рацион, кормовая смесь, смеситель-кормораздатчик.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-23

УДК 620.16.63

Р. І. Барабаш, к.т.н. ORCID: 0000-0001-5615-8067
М. А. Михалюк, к.т.н. ORCID: 0000-0003-3521-1302
Львівський національний аграрний університет, Дубляни, Україна.
e–mail: rbarabash@ukr.net, gazowod@ukr.net

АНАЛІЗ ЗАЛЕЖНОСТЕЙ ПАРАМЕТРІВ ТА ПОКАЗНИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТО-2 ТА ТО-3 ТРАКТОРІВ ХТЗ–16131

Анотація. У статті зроблене обґрунтування виробничої структури фірмових пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ, розглянута можливості досягнення їх заданої продуктивності за рахунок трьох видів ресурсів, а саме: зміни чисельності робітників, кількості обладнання та постів. Дослідження ґрунтується на моделюванні технологічних процесів технічного обслуговування з використанням основних положень теорії графів і розкладів. Запропоновано метод моделювання з використанням евристичного алгоритму розподілу усієї множини операцій технічного обслуговування певного виду, між робітниками на постах пункту технічного обслуговування, з урахуванням кількості обладнання, з метою отримання розкладу виконання операцій, який мінімізував тривалість циклу. Результатами моделювання є залежності тривалості технологічних процесів різних видів технічного обслуговування тракторів ХТЗ-16131 від кількості залучених робітників, кількості обладнання та кількості постів, а також залежності між кількістю різних залучених ресурсів та показниками ефективності їх використання. Аналіз результатів дослідження показав, що збільшення кількості робітників дещо скорочує тривалість технологічних процесів для всіх видів технічного обслуговування тракторів ХТЗ-16131, а також підвищує коефіцієнти використання фондів часу робітників та обладнання.

Ключові слова: трактори ХТЗ, технічне обслуговування, технологічний процес, моделювання, параметри та показники ефективності.

Постановка проблеми. Інтереси ефективного функціонування сільськогосподарського виробництва вимагають, щоб інфраструктура технічного сервісу, покликана підтримувати технічний стан засобів

© Р. І. Барабаш, М. А Михалюк

механізації праці у постійній технічній готовності, працювала злагоджено і ефективно [1-3].

Власники і користувачі сільськогосподарської техніки не повинні (як з економічної так і з технічної точок зору) виконувати весь обсяг робіт з ремонту і технічного обслуговування машин і обладнання. Більш ніж третина загальної трудомісткості цих робіт вимагає спеціального обладнання, інструменту та кваліфікації виконавців і повинна виконуватись силами і засобами спеціалізованих підприємств технічного сервісу різного рівня [4-6].

Досвід останніх років яскраво показав, до яких негативних наслідків призвело нехтування науково доведеними вимогами. Технічна готовність тракторів до сезонів польових робіт знизилась до 0,75-0,8 [7, 8]. Обґрунтування раціональних виробничих структур пунктів технічного обслуговування (ПТО) тракторів ХТЗ передбачає дослідження технологічних процесів (ТП) технічного обслуговування (ТО) з метою виявлення та аналізу залежностей між їх параметрами (кількістю залучених виконавців u, кількістю необхідного обладнання різних типів K_r та кількістю постів f) і показниками ефективності (тривалістю $T_{\text{ТП}}$, коефіцієнтами використання фондів робочого часу працівників η_u, обладнання різних типів η_r і постів η_f) [9, 10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проблема розробки та реалізації адаптованої до сучасних умов експлуатації машин системи технічного сервісу мобільної енергонасиченої сільськогосподарської техніки розглянута В.Д. Войтюком [12] однак без достатнього урахування виробничої та технологічної структури ТП технічного сервісу.

Визначенню структури, параметрів і показників ефективності ТП технічного сервісу, які виконуються на стаціонарних постах, присвячено не надто багато праць. Зокрема, В.О. Тимочком було застосовано методику структурно-параметричного аналізу та синтезу ТП для дослідження параметрів і показників ефективності процесів поточного ремонту тракторів класів 0,9 та 1,4 на стаціонарних постах [28]. Ґрунтовний аналіз виробничої та технологічної структури ТП технічного обслуговування (ТО) тракторів ХТЗ проведено в роботах [23, 24], на підставі якого шляхом моделювання [17] встановлено залежності між параметрами та показниками їх ефективності [18, 23, 24]. Водночас у працях [16, 19, 20] з використанням теорії графів і розкладів показано, що під час аналізу ТП, які виконуються на стаціонарних постах, слід брати до уваги не лише можливість зміни чисельності робітників u та кількості основного ремонтно-технологічного обладнання різних типів K_r, але й можливість збільшення фронту ремонту f, що в процесах ТО відповідає збільшенню

кількості технологічних постів пунктів технічного обслуговування (ПТО), що не враховували у попередніх дослідженнях [12, 16, 24].

*Формулювання мети статті***.** Мінімізація втрат продукції в сучасному агропромисловому виробництві обумовлена рівнем готовності техніки, зокрема тракторів загального призначення ХТЗ-16131, які широко використовуються в АПК України. Одним із визначальних чинників підтримання належної готовності машин є своєчасне та якісне їх технічне обслуговування. У зв'язку з виникненням великої кількості приватних фермерських господарств, приватизацією підприємств тракторного та сільськогосподарського машинобудування, суттєвим розширенням номенклатури машин, що пропонуються для сільськогосподарського виробництва великою кількістю фірм різних країн, прийнята для колективних господарств концепція технічного обслуговування та ремонту техніки [14] виявилась абсолютно неспроможною в нових ринкових умовах господарювання, які вимагають запровадження фірмового технічного сервісу [22, 25].

Обґрунтування ефективних виробничих структур ПТО тракторів та їх продуктивності можливе лише на підставі аналізу залежностей між параметрами й показниками ефективності ТП технічного обслуговування, які вимагають ретельних досліджень.

Основна частина. Структура міжремонтного циклу тракторів ХТЗ-16131 передбачає п'ять видів обслуговування, які виконують з різною періодичністю, а саме: ЩТО (щозмінне) і ТО-1, які переважно виконують трактористи-машиністи за місцем експлуатації тракторів; а також ТО-2, ТО-3, ТО-$З^{ПР}$ (перед поточним ремонтом) і ТО-$З^{КР}$ (перед капітальним ремонтом), які повинні виконувати висококваліфіковані слюсарі в умовах ПТО. Для реалізації ТП ТО тракторів ХТЗ-16131 була прийнята технологія, рекомендована заводом-виробником [26, 27]. Ремонтно-технологічне обладнання (РТО) вибиралось з каталогів [13] за значенням коефіцієнтів технічного рівня [11]. Нормування операцій проводили на підставі діючих нормативів [21] і результатів хронометражних спостережень.

Моделювання ТП ТО полягало у розподілі за евристичними алгоритмами теорії розкладів скінченного масиву операцій визначеної тривалості цього ТО між робітниками, а також у одночасному формуванні розкладів роботи кожної одиниці обладнання усіх типів. Метою розподілу операцій було досягнення для заданої кількості робітників u і заданої кількості основного РТО кожного типу K_r мінімальної тривалості технологічного процесу $T_{т.п}$. Збільшення кількості постів ПТО (фронту технічного обслуговування f) відповідало введенню в розгляд чергових масивів операцій, аналогічних початковому, однак із кратним зростанням кількості

робочих зон. На підставі вивчення конструкції, а також антропологічних показників людини, довкола трактора ХТЗ-16131 класу 3,0 сформовано одинадцять робочих зони для розташування виконавців під час проведення технічних обслуговувань (рис. 1).

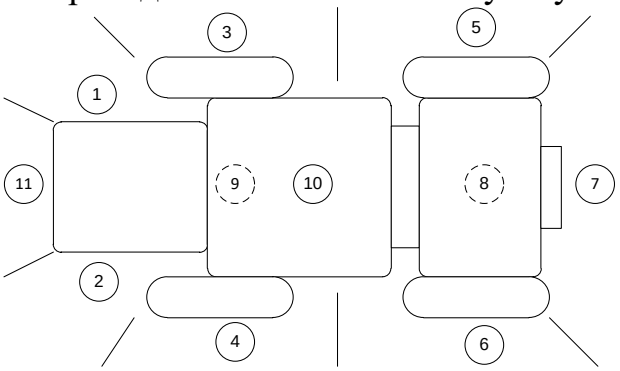


Рисунок 1. Розташування робочих зон довкола трактора ХТЗ–16131

Як бачимо (табл. 1), більш складні види ТО тракторів ХТЗ–16131, потребують реалізації щоразу більшої кількості операцій $N_{\text{ЕТО}}$, зростання сумарної тривалості Σt, застосування більшої кількості типів різного устаткування R. Одночасно для них зростає й кількість робочих зон, що уможливлює рівночасне вживання в ТП більшої кількості працівників, проте зростає мінімальна тривалість ТП ТО $T_{TП_{\min}}$. В наслідок цього ТП складніших видів ТО є менш технологічними K_{mex}.

Таблиця 1

Складові параметри технологічної структури процесів ТО тракторів ХТЗ-16131

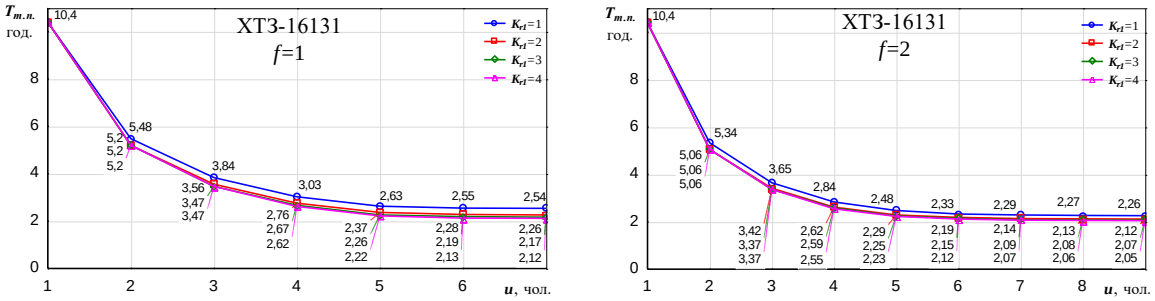
Модель трактора	Вид ТО	К-сть операцій N_{ETO}	Сумарна тривалість операцій	$T_{TПmin}$,	Кількість робочих зон k	Кількість типів обладнання R	Коефіцієнт технологічності K_{mex}
ХТЗ-16131	ТО-2	134	10,4	2,54	12	14	0,0306
	ТО-3	184	21,72	3,95	14	22	0,0299
	ТО-3^{ПР}	216	29,8	5,56	14	25	0,0248
	ТО-3^{КР}	228	33,86	6,42	14	28	0,0231

На основі впорядкованих моделей для усіх ТО тракторів ХТЗ-16131 встановлено сумарну тривалість усіх операцій ТП Σt, та цінний динамічний покажчик ремонтно–придатності – мінімально допустиму тривалість ТП $t_{TПmin}$.

Моделювання ТП ТО полягало в формуванні для заданої кількості постів (фронту f) пункту технічного обслуговування (ПТО), заданої кількості працівників u і основного РТО усіх R_{max} потрібних типів K_r

взаємообумовлених розкладів здійснення операцій S_f, S_u та S_r. Для кожного ТО розклади S_f, S_u і S_r утворювали шляхом поділу загального масиву операцій серед працівників та устаткування постів ПТО з урахуванням обмежень на допустиму послідовність їх виконання, що задана невпорядкованими моделями ТП відповідних ТО. На основі сформованих розкладів виконання операцій для заданих f, u і K_r встановили тривалості процесу $T_{ТП}$ різних ТО тракторів ХТЗ-16131.

На (рис. 2, а; рис. 2, б) представлено залежність тривалості ТП ТО-2 від кількості працівників u при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2.

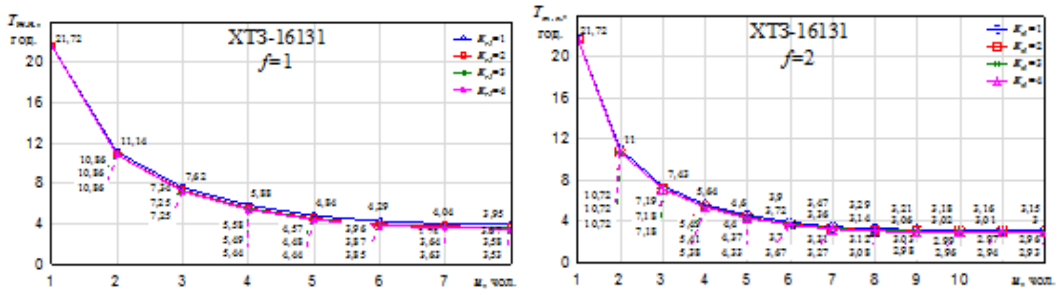


а) *б*)

Рисунок 2. Залежності тривалості ТП ТО–2 трактора ХТЗ–16131 від кількості працівників u при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2

Із збільшенням працівників u кількість яких наближається до *max* значення, скорочення тривалості ТП $T_{ТП}$ все менше, аж до абсолютної стабілізації їх показників на рівні *min* допустимих. Збільшення кількості постів f не впливає на $T_{ТП}$ ТО-2 тракторів ХТЗ-16131, утім, за дотримання умови $u \geq f$, дещо зменшує тривалість технологічного циклу $T_Ц$, що рівноцінне зростанню продуктивності ПТО. Як видно з цих рисунків максимальна кількість робітників u_{max}, що може бути залучена до проведення ТП ТО-2 при фронті технічного обслуговування f =1 становить u_{max} =7 чол., при збільшені фронту ТО f =2 цей показник зростає та буде рівний u_{max} =9 чол.

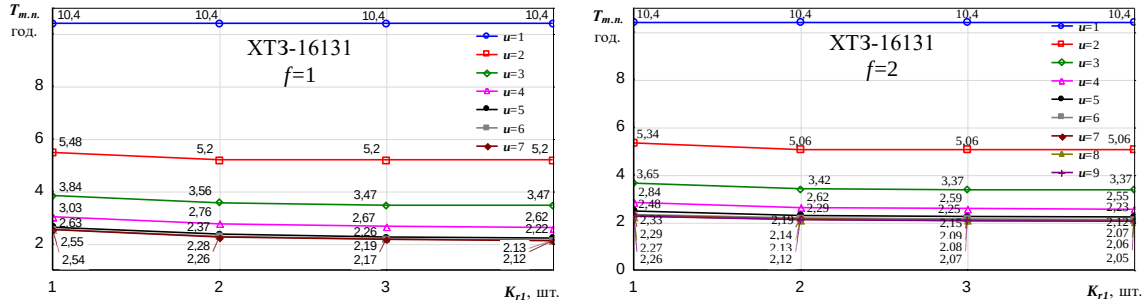
Рисунок (3, *а*; 3, *б*) відображає залежність тривалості ТП ТО-3 від кількості робітників u. Їхній аналіз показав, що u_{max} =8 чол. при фронті f =1 і u_{max} =12 чол. для f =2, це у порівнянні з ТО-2 для f =1 на 1 та для f =2 на 3 працівника більше. Це зумовлено (табл. 1) більшою кількістю технологічних операцій N_{ETO} та відповідно їх сумарною тривалістю, робочих зон та ремонтно-технологічного обладнання.



а) *б*)

Рисунок 3. Залежності тривалості ТП ТО–3 трактора ХТЗ–16131 від кількості працівників *u* при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) *f*=1 (*б*) *f*=2

Із збільшенням кількості РТО, а саме (струменевих мийок K_{r1}) дає можливість деякого зменшення тривалості ТП ТО-2 (рис. 4, *а*; рис. 4, *б*). Так при K_{r1}=2 шт. $T_{TП_{\min}}$ для фронту f =1 і f =2 буде відповідно становити $T_{TП_{\min}}$=2,26 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=2,12 люд.-год.; K_{r1}=3 шт. $T_{TП_{\min}}$ =2,17 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=2,07 люд.-год. і K_{r1}=4 шт. $T_{TП_{\min}}$=2,12 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=2,05 люд.-год.



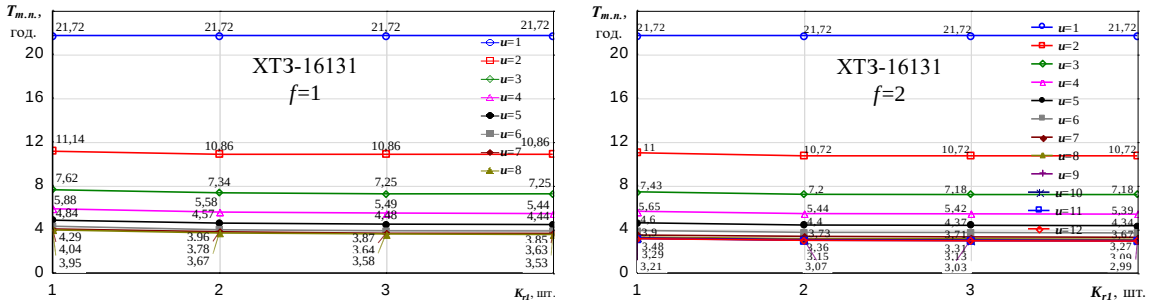
а) *б*)

Рисунок 4. Залежності тривалості ТП ТО–2 трактора ХТЗ–16131 від кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) при різній кількості працівників *u* для фронту ТО (*а*) *f*=1 (*б*) *f*=2

Залучення більшої кількості K_{r1} для ТП ТО-3 (рис. 5, *а*; рис. 5, *б*), також уможливлює скорочення $T_{TП}$. Так при K_{r1}=2 шт. $T_{TП_{\min}}$ для фронту f =1 і f =2 буде відповідно становити $T_{TП_{\min}}$=3,67 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=3,07 люд.-год.; K_{r1}=3 шт. $T_{TП_{\min}}$=3,58 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=3,03 люд.-год. і K_{r1}=4 шт. $T_{TП_{\min}}$=3,53 люд.-год. та $T_{TП_{\min}}$=2,99 люд.-год.

На (рис. 6, а; рис. 6, б) представлено залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u від їх кількості *u* для ТП ТО–2 тракторів ХТЗ–16131 при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) *f*=1 (*б*) *f*=2. Залучення до ТП ТО–2, щораз більшої кількості працівників зменшує значення

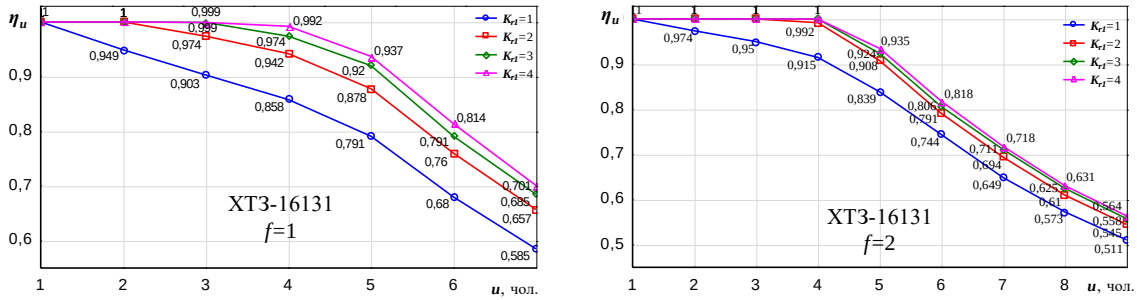
коефіцієнтів використання фондів робочого часу робітників η_u не залежно від кількості постів f.



а) *б*)

Рисунок 5. Залежності тривалості ТП ТО–3 трактора ХТЗ–16131 від кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) при різній кількості працівників u для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2

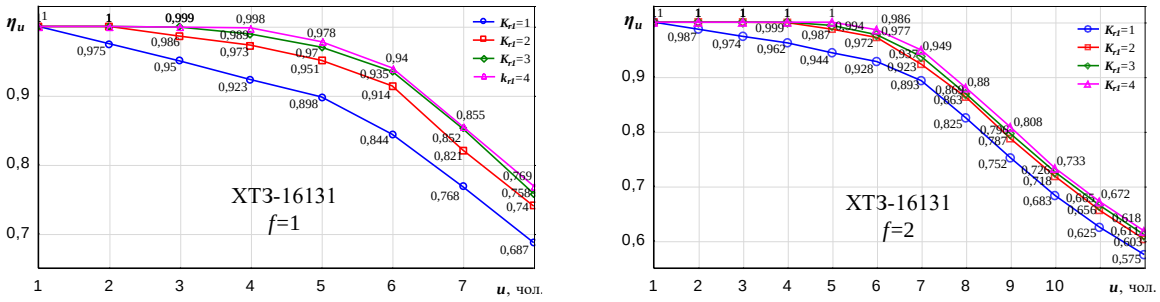
Водночас при збільшені постів f для однакової кількості робітників u зумовлює деяке підвищення коефіцієнта η_u. Для заданої кількості працівників u =7 чол. η_u для f =1 і f =2 при K_{r1}=1 шт. відповідно становитиме η_u =0,585, η_u =0,649; K_{r1}=2 шт. η_u =0,657, η_u =0,694; K_{r1}=3 шт. η_u =0,685, η_u =0,711; K_{r1}=4 шт. η_u =0,701, η_u =0,718.



а) *б*)

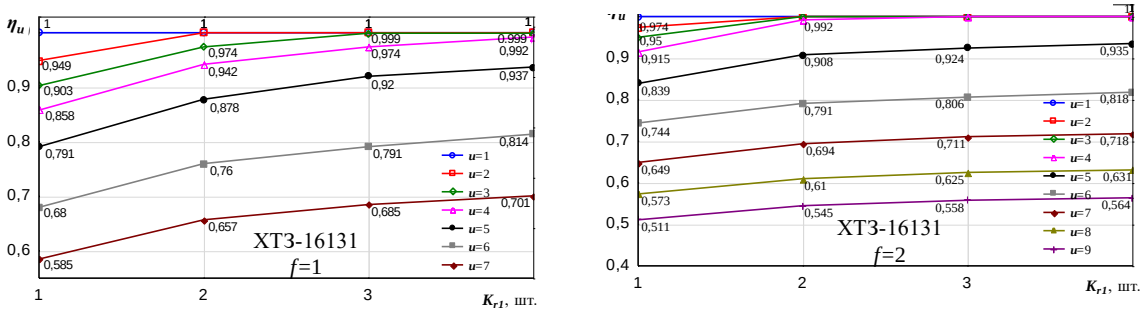
Рисунок 6. Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u від їх кількості u для ТП ТО–2 трактора ХТЗ–16131 при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2

Значення коефіцієнтів використання фондів робочого часу робітників ТП ТО-3 при f =1 та f =2, що подано на (рис. 7, а; рис. 7, б) будуть дещо вищими від аналогічних значень кількості робітників u та постів f у зіставленні з ТП ТО-2. Проте при збільшені кількості K_{r1} коефіцієнт η_u дещо зростає (рис. 8, а; рис. 8, б). Так при u=4 чол. коефіцієнт η_u для фронту f =1 та K_{r1}=1 шт., K_{r1}=2 шт., K_{r1}=3 шт. і K_{r1}=4 шт. буде відповідно становити η_u =0,858; η_u =0,942; η_u =0,974; η_u =0,992. Для f =2 та K_{r1}=1 шт., K_{r1}=2 шт., K_{r1}=3 шт. і K_{r1}=4 шт. буде рівне η_u =0,915; η_u =0,992; η_u =1; η_u =1.



а) *б*)

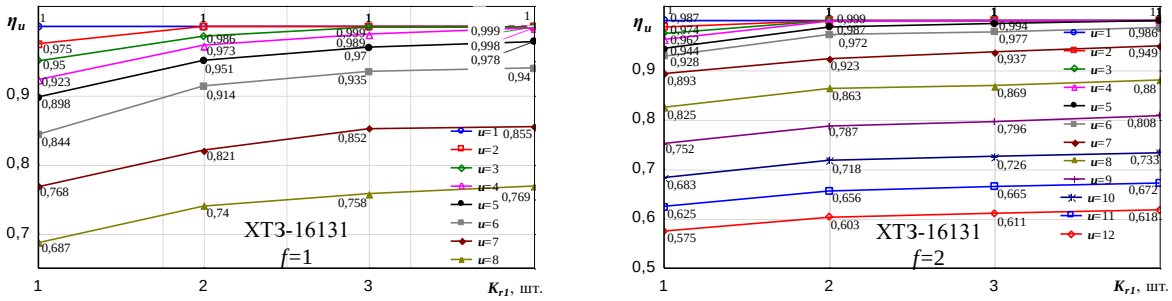
Рисунок 7. Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u від їх кількості u для ТП ТО–3 трактора ХТЗ–1613 при різній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2



а) *б*)

Рисунок 8. Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u від кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для ТП ТО–2 трактора ХТЗ–121 при різній кількості працівників u для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2

Аналогічні показники коефіцієнт η_u при змінній кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) подано на (рис. 9, а; рис. 9, б) для ТП ТО-3.



а) *б*)

Рисунок 9. Залежності коефіцієнтів використання фондів робочого часу працівників η_u від кількості обладнання K_{r1} (струменевих мийок) для ТП ТО–3 трактора ХТЗ–121 при різній кількості працівників u для фронту ТО (*а*) f=1 (*б*) f=2

Так при u=5 чол. коефіцієнт η_u для фронту f=1 та K_{r1}=1 шт., K_{r1}=2 шт., K_{r1}=3 шт. і K_{r1}=4 шт. буде відповідно становити η_u=0,898; η_u=0,951; η_u=0,97; η_u=0,978. Для f=2 та K_{r1}=1 шт., K_{r1}=2 шт., K_{r1}=3 шт. і K_{r1}=4 шт. буде рівне η_u=0,944; η_u=0,987; η_u=0,994; η_u=1

Висновки. Встановлено, що, окрім зміни кількості робітників та основного ремонтно-технологічного обладнання усіх типів, додатковим ресурсом впливу на показники ефективності технологічних процесів технічного обслуговування є збільшення кількості постів (фронту технічного обслуговування).

Стосовно досліджених технологічних процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ-16131, які виконуються на стаціонарних постах, отримали підтвердження фундаментальні положення [5] про те, що збільшення кількості будь-якого ресурсу не покращує показники його використання, однак не погіршує показники ефективності використання інших ресурсів.

Отримані результати є підставою для формування параметричних рядів виробничих структур фірмових пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ-16131 різної продуктивності.

Список використаних джерел

1. Podashevskaya H. Application of nanotechnology in technological processes of animal husbandry in Ukraine. *Engineering of nature management*. 2020. 2(16), pp. 33-37.

2. Zhuravel D., Skliar O. Modeling the reliability of units and units of irrigation systems. // *Multidisciplinary academic research.* Abstracts of I International Scientific and Practical Conference. Amsterdam, Netherlands 2021. Pp. 83-86.

3. Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes*, 2021, 9 (7), 1144

4. Skliar R., Skliar O. Measures to improve energy efficiency of agricultural production. *Social function of science, teaching and learning* Abstracts of XIII International Scientific and Practical Conference. Bordeaux, France. 2020. Pp. 478-480.

5. Skliar R. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *// Current issues of science and education. Abstracts of XIV* International Scientific and Practical Conference. Rome, Italy 2021. Pp. 171-176.

6. Boltianska N.I., Boltianskyi B.V. Reducing energy expenses in the production of pork. *WayScience.* Dnipro, Ukraine, 2021. P.1. C. 27-29.

7. Serebryakova N. Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. Минск: БГАТУ, 2020. С. 276-278.

8. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and edu-cation:* Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, Greece 2021. Pp. 231-233.

9. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management*. 2021. №1(19). pp. 7–12.

10. Grigorenko S. Technical means for mechanization of technological processes on livestock farms // Theory, practice and science. Abstracts of V International Scientific and Practical Conference. Tokyo, Japan 2021. Pp. 255-257.

11. Белик В.Г. Технический уровень машин и аппаратов: пути его повышения. К. : Техніка, 1991. 200 с.

12. Войтюк В. Д. Техніко-технологічний розвиток системи сервісу енергонасиченої сільськогосподарської техніки : Автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11. Київ, 2012. 45 с.

13. Зеркалов Д.В., Береславский М.Л., Обумов Ю.А. Обладнання для технічного обслуговування та ремонту машин: Довідник. К.: Урожай, 1991. 209 с.

14. Комплексная система технического обслуживания и ремонта машин в сельском хозяйстве. М.: ГОСНИТИ, 1985. 143 с.

15. Кузьмінський Р. Структура, параметри та ефективність технологічних процесів ремонту. *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. Львів, 2005. № 9. С. 50 – 60.

16. Кузьмінський Р., Барабаш Р. Параметри та показники ефективності технологічних процесів технічного сервісу, що виконуються на стаціонарних постах. *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. Львів, 2006. № 10. С. 66 – 73.

17. Кузьмінський Р. Д. Барабаш Р.І., Кирик Т.Ю. Автоматизована інформаційно–аналітична система обґрунтування параметрів технологічних постів підприємств технічного сервісу. *Вчені Львівського національного аграрного університету – виробництву*: Каталог інноваційних розробок. Львів, 2012. Вип. 12. С. 56.

18. Кузьминский Р., Барабаш Р., Михалюк М. Анализ технологической и производственной составляющих структуры процессов технического обслуживания тракторов ХТЗ-Т150К-09. *MOTROL: Commission of Motorization and Energetic in Agriculture*. Lublin-Rzeszow, 2014. Vol. 16. No. 4 С. 303 –309.

19. Кузьмінський Р.Д. Соколовський О.Р. Визначення показників ефективності технологічних процесів, які виконують на стаціонарних постах. *Вісник ХНТУ ім. П. Василенка: Ресурсозберігаючі технології, матеріали та обладнання у ремонтному виробництві*. Вип. 110. Харків, 2011. С. 36 – 42.

20. Кузьмінський Р.Д., Соколовський О.Р. Алгоритм проектування технологічних процесів, які виконуються на стаціонарних постах. *Збірник наукових статей ЛНТУ: Сільськогосподарські машини*. Вип. 21. Т.1. Луцьк, 2011. С. 228 – 235.

21. Методика розробки та типові норми часу на технічне обслуговування тракторів / В.В. Вітвіцький, М.С. Лосина, М.С. Гулька та ін. К. : НДІ «Украгропромпродуктивність», 2005. 219 с.

22. Сидорчук О. Основні функції і форми управління системою технічного обслуговування тракторів / О. Сидорчук, В. Боярчук, Р. Кузьмінський та ін. // *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. 2009. №13. Т.2. Львів, 2009. С. 51 – 56.

23. Сидорчук О.В., Кузьмінський Р.Д., Барабаш Р.І. Особливості аналізу технологічної та виробничої структури процесів технічного обслуговування тракторів ХТЗ. *Екологічні, технологічні та соціально-економічні аспекти використання матеріально-технічної бази АПК*: Матеріали міжнар. наук.-практ. форуму, 17-18 вересня 2008 р. Львів: Львів. нац. агроуніверситет, 2008. С. 406–409.

24. Сидорчук О. Технологічна складова функціональної структури системи фірмового технічного обслуговування тракторів ХТЗ / О. Сидорчук, Р. Кузьмінський, Р. Барабаш та ін. // *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. 2009. № 13. Т. 2. Львів, 2009. С. 73 – 80.

25. Сидорчук О.В. Концепція управління проектом технічного обслуговування тракторів / О.В. Сидорчук, М.М. Семерак, Р.Д. Кузьмінський та інші // *Вісник ЛДАУ: Агроінженерні дослідження*. 2008. № 12. Т. 1. Львів, 2008. С. 16 – 21.

26. Технологические карты на предпродажное и техническое обслуживание тракторов ХТЗ–16131, ХТЗ–3522. Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 80 с.

27. Трактор ХТЗ–16131. «Руководство по эксплуатации» 3512.00.001 РЭ. Харьковский тракторный завод им. С. Орджоникидзе. Харьков, 2014. 46 с.

28. Тимочко В.О. Ефективні виробничі структури дільниць поточного ремонту тракторів класів 0,9 і 1,4 : Дис. ... канд. техн. наук : 05.20.03. Львів, 1994. 241 с.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2021 р.

R. Barabash, M. Mikhalyuk
Lviv National Agrarian University

ANALYSIS OF DEPENDENCIES OF PARAMETERS AND INDICATORS OF EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESS TO-2 AND TO-3 HTZ-16131 TRACTORS

Summary

The article substantiates the production structure of branded maintenance points of HTZ tractors, considers the possibility of achieving their desired productivity through

three types of resources, namely: changes in the number of workers, number of equipment. and posts. The interests of the efficient functioning of agricultural production require that the infrastructure of technical service, designed to maintain the technical condition of the means of mechanization of labor in constant technical readiness, work in a coordinated and efficient manner. The study is based on the modeling of technological processes of maintenance using the basic provisions of the theory of graphs and schedules. A method of modeling using a heuristic algorithm for the distribution of the entire set of maintenance operations of a certain type, between workers at the posts of the maintenance point, taking into account the amount of equipment, to obtain a schedule of operations that minimized the cycle. The simulation results are the dependence of the duration of technological processes of different types of maintenance of tractors HTZ-16131 on the number of workers involved, the number of equipment and the number of posts, as well as the relationship between the number of different resources and efficiency. The analysis of the research results showed that the increase in the number of workers somewhat reduces the duration of technological processes for all types of maintenance of HTZ-16131 tractors, as well as increases the utilization rates of workers' time and equipment.

Key words: HTZ tractors, maintenance, technological process, modeling, parameters, and efficiency indicators.

Р. И. Барабаш, М. А Михалюк
Львовский национальный аграрный университет

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПАРАМЕТРОВ И ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ТО-2 И ТО-3 ТРАКТОРОВ ХТЗ–16131

Аннотация

В статье сделано обоснование производственной структуры фирменных пунктов технического обслуживания тракторов ХТЗ, рассмотрена возможность достижения их заданной производительности за счет трех видов ресурсов, а именно: изменения численности рабочих, количества оборудования и постов. Исследование основывается на моделировании технологических процессов технического обслуживания с использованием основных положений теории графов и расписаний. Предложен метод моделирования с использованием эвристического алгоритма распределения всего множества операций технического обслуживания определенного вида между рабочими на постах пункта технического обслуживания, с учетом количества оборудования, с целью получения расписания выполнения операций, минимизировавшего продолжительность цикла. Результатами моделирования являются зависимости продолжительности технологических процессов разных видов технического обслуживания тракторов ХТЗ-16131 от количества привлеченных рабочих, количества оборудования и количества постов, а также зависимости между количеством различных ресурсов и показателями эффективности их использования. Анализ результатов исследования показал, что увеличение количества рабочих несколько сокращает продолжительность технологических процессов для всех видов технического обслуживания тракторов ХТЗ-16131, а также увеличивает коэффициенты использования фондов времени рабочих и оборудования.

Ключевые слова: тракторы ХТЗ, техническое обслуживание, технологический процесс, моделирование, параметры и характеристики эффективности.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-24

УДК 631.14 636:63

Л. О. Болтянська, к.е.н., доц. ORCID: 0000-0002-6314-4429
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: larysa.boltianska@tsatu.edu.ua

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ТЕНДЕНЦІЇ РЕГІОНАЛЬНОГО РИНКУ МОЛОКА

Анотація. В статті проведено аналіз сучасного стану галузі вітчизняного та регіонального ринку молока, виявлені тенденції розвитку. Основним завданням молочної промисловості є формування пропозиції на ринку молока та молочних продуктів задля забезпечення потреб населення необхідними продуктами харчування. Молочне скотарство, як і вся тваринницька галузь, займає вагому позицію в структурі харчової промисловості України, оскільки молочні продукти є основою здорового харчування та одночасно незмінною складовою при виробництві різноманітних товарів харчової промисловості.

Спостереження свідчать, що функціонування ринку молока на сьогоднішній час потребує об'єктивної оцінки реального стану основних елементів ринкового середовища: попиту та пропозиції. Саме попит на ринку молока забезпечує стабільність та впевненість у товаровиробників всіх категорій та підприємств молочної промисловості. При цьому формування пропозиції, відповідно валового виробництва молока здійснюється в залежності від кількості поголів'я тварин молочного стада, їх продуктивності, інтенсивності технологій та фондомісткості галузі.

Ключові слова: галузь тваринництва, чисельність поголів'я тварин, продуктивність тварин, ринок молока, фактори впливу, тенденції розвитку ринку.

Постановка проблеми. Формування харчових звичок людини починається у ранньому віці під впливом і за прикладом батьків. Саме відносини та родинні звички мають ключове значення для забезпечення здорового харчування в подальші періоди життя. Основні стратегії оптимізації харчування свідчать про включення до харчового раціону молочних продуктів. Молочні продукти є невід'ємною частиною раціону. Молоко залишається одним із найцінніших продуктів харчування людини, містить усі необхідні для людини

© Л. О. Болтянська

речовини: білки, жири, вуглеводи, ферменти, вітаміни, мінеральні речовини й інші важливі елементи харчування.

Формуванням пропозиції на ринку молока та молочних продуктів задля забезпечення потреб населення є основним завданням молочної промисловості. Дана галузь займає вагому позицію в структурі харчової промисловості країни в цілому, оскільки молочні продукти є основою здорового харчування та одночасно незмінною складовою при виробництві різноманітних товарів харчової промисловості.

Молочне скотарство, як підгалузь тваринництва, розвинене в багатьох регіонах України, відповідно і молочна промисловість є традиційною для регіональних ринків України. Проте, виробництво молока та забезпечення сировиною переробну галузь є нерівномірним серед регіонів, незважаючи на благоприємні умови розвинення цієї галузі на території всієї країни.

Слід зазначити, що сьогоденний ринок молока функціонує в досить непростих економічних умовах, що вимагає об'єктивної оцінки реального стану попиту та пропозиції, цін на дану продукцію з метою виявлення тенденцій подальшого розвитку в Україні та зокрема в Південному регіоні.

Аналіз останніх досліджень. Сучасний стан та проблеми розвитку молочного скотарства розглядається в численних публікаціях науковців і експертів ринку, а також на семінарах, нарадах та конференціях. Тенденції вітчизняного ринку молока, аналіз проблем його функціонування, пропозиції щодо покращення умов виробництва, взаємовідносин на ринковому просторі відображаються в багатьох публікаціях вітчизняних науковців, зокрема: С.П. Азізова, В.Г. Андрійчука, В.І. Аранчія, П.С. Березівського, І.Г. Власенка, А.Д. Діброві, М.М. Ільчука, В.М. Калінчика, П.Т. Саблука, Г.М. Христенко, О.М. Шпичака та інших.

Втім, незважаючи на наявність наукових публікацій, враховуючи специфічність, питання становлення і розвитку ринку молока не втрачають своєї актуальності.

Формулювання цілей статті. Метою статті є проведення аналізу сучасного стану ринку молока в Україні, зокрема в Південному регіоні, виявлення тенденцій та проблем функціонування, зазначення можливостей та перспективних напрямів розвитку.

Основна частина. Під ринком продукції тваринництва слід розуміти сферу вільного товарного обміну, яка об'єднує економічно самостійних виробників продукції тваринництва (сільськогосподарські підприємства, фермерські господарства і господарства населення) та споживачів (переробні підприємства, що закуповують тваринницьку продукцію, зокрема молоко, а також населення, яке виступає кінцевим

споживачем), крім того сам процес обміну, тобто сферу транспортування, зберігання, торгівлі та сервісу [1,с.39].

Особливістю галузі тваринництва є виробництво продукції для первинного ринку, з гарантованою наявністю ринку збуту продукції та своєчасного надходження сировини на переробні підприємства не залежно від сезонності.

Попит на ринку формується під впливом демографічних, економічних, поведінкових та вартісних чинників, тобто він залежить від кількості населення, розподілу його доходів, платоспроможності, якості і вартості продукції, товарного асортименту, смаків і вподобань споживачів, експорту тощо. Пропозиція залежить від природних умов, рівня життя сільського населення, ресурсного потенціалу, імпорту, організаційно-економічних (розвитку інфраструктури ринку, форми організації виробництва, грошової та кредитно-податкової політики), технологічних (догляд за тваринами, годівля, технологія зберігання та переробки сировини) чинників, взаємовідносин (переробних підприємств і сільськогосподарських виробників) [2, с.171]

Молочне скотарство є важливим джерелом формування продовольчих ресурсів в Україні, забезпечуючи населення молочними продуктами та переробну ланку – сировиною. Утім останнім часом ринок молока є проблемним з зі сторони саме виробництва. Капіталомісткість сучасних технологій достатньо висока, а віддача триває іноді декілька років.

Рівень виробництва молока на підприємствах країни формується в залежності від кількості сільськогосподарських тварин, їх продуктивності, наявної кормової бази та забезпеченості техніко-технологічного обладнання. Серед формуючих чинників переважним залишається все ж таки кількість поголів’я худоби.

Забезпечення населення питним молоком та продукцією його переробки вітчизняними виробниками має тенденцію до щорічного скорочення (табл.1). Виробництво молока в Україні за 2020 рік скоротилось майже на 430 тис. тон (що становить 4,6%) відносно попереднього року та на 10,7% відповідно до 2016р. Чинником тому стала стійка тенденція до скорочення поголів’я молочного напрямку в господарствах усіх категорій. Останні чотири роки поспіль існує тенденція скорочення поголів’я корів щорічно в межах 95 -130 тис. голів.

До Південного регіону України відносять Дніпропетровську, Запорізьку, Миколаївську, Одеську та Херсонську області. Аналіз тенденцій ринку молока в Південному регіоні здійснюємо на основі даних перелічених областей без урахування тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим та м. Севастополя.

Таблиця 1.

Динаміка виробництва молока, поголів'я худоби та їх продуктивність в господарствах усіх категорій України та Південного регіону*

Показники	Роки					Зміна у %, 2020р. до 2016р.
	2016	2017	2018	2019	2020	
в цілому по Україні						
Виробництво молока, тис. тон	10381,5	10280,5	10064	9697	9267,4	89,3
Поголів'я ВРХ, тис. гол, у т.ч.	3750,3	3682,3	3530,8	3332,9	3092	82,4
корови	2166,6	2108,9	2017,8	1919,4	1788,5	82,5
питома вага корів в поголів'ї ВРХ	57,8	57,3	57,1	57,6	57,8	*
Середньорічний надій на 1 корову, кг	4791,61	4874,82	4987,61	5052,1	5181,6	108,1
у т.ч. в Південному регіоні						
Виробництво молока, тис. тон	1640	1585,5	1532,4	1408,8	1332,1	81,2
Поголів'я ВРХ, тис. гол, у т.ч.	650,6	650,6	638,6	563	506,5	77,9
корови	382	372,4	362,9	334	305,3	79,9
питома вага корів в поголів'ї ВРХ	58,7	57,2	56,8	59,3	60,3	*
Середньорічний надій на 1 корову, кг	4293,2	4257,5	4222,7	4218,0	4363,2	101,6
Частка регіону в структурі:						
валового виробництва молока	15,80	15,42	15,23	14,53	14,37	-1,42
загальному поголів'ї корів	10,19	10,11	10,28	10,02	9,87	-0,31
Індекс регіонального середньорічного надою на 1 корову до надою в Україні	0,90	0,87	0,85	0,83	0,84	-0,05

*Побудовано за даними збірника «Тваринництво України», 2020 р. та статистичної інформації Державної служби статистики.

Ситуація з екстенсивним розвитком молочного скотарства в регіоні катастрофічна. Скорочення корів в період з 2016 року склало майже на одну п'яту, з негативною динамікою скорочення молочного стада в 27-29 тис. голів. Це призвело до зменшення виробництва молока на 307,9 тис. тон.

Проте, при повальному скороченні молочного стада, за останні п'ять років спостерігається підвищення, на 128 кг відносно попереднього року та на 360 кг порівняно з 2016 роком, середньорічного надою молока від 1 корови. Дана динаміка намітилась лише в 2020 році, до цього до звітного року продуктивність корів щорічно зменшувалась в середньому з інтервалом 35 кг . Ті підприємства, які розвивають молочний напрямок намагаються

дотримуватись та підвищувати технічну та технологічну культуру виробництва молока, тому при використанні сучасних технологічних ресурсів достигають рентабельного виробництва.

Слід зазначити, що регіональний ринок молока у вітчизняному ринку займає стабільну, за останні 5 років, частку – п’ять областей Південного регіону додають шосту частину молока у вітчизняне виробництво, десяту частину займають за кількістю поголів’я, проте величина середньорічного надою на 1 голову менша за середній показник в цілому по Україні, коливання становить від 10 до 17%. Ця динамічність пояснюється переважно рослинницькою спеціалізацією агропідприємств регіону.

Розподіл загального виробництва молока в регіоні за областями склався останнім часом не змінний (рис.1). Загальна величина валового виробництва молока в регіоні за областями розподілилась майже пропорційно. З загальної картини виділяється тільки Запорізька область, в господарствах населення якої за останні десять років спостерігається планомірне скорочення стада корів, чинником тому є відсутність кормової бази, трудомісткість та капіталомісткість утримання корів у власних господарствах.

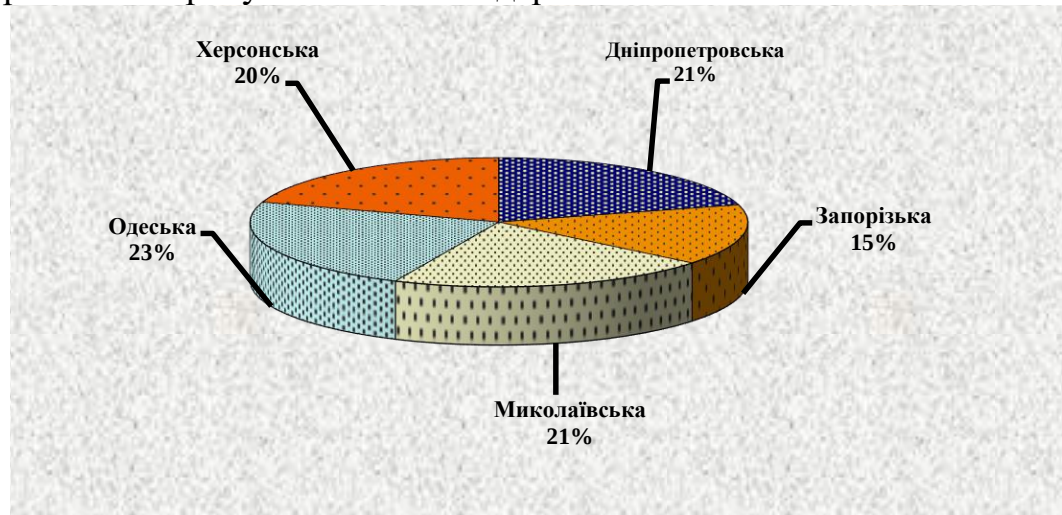


Рисунок 1. Розподіл валового виробництва молока за областями Південного регіону України у 2020 року *

*Побудовано за статистичною інформацією Державної служби статистики.

Досить різняться темпи виробництва молока та динаміка поголів’я корів в залежності від категорії підприємств. Постачальниками молока на ринок є аграрні підприємства різних форм власності (агрофірми, товариства, приватні підприємств тощо) та різноманітні види господарств населення, які реалізують свою продукцію споживачу та здають сировину переробним підприємствам молочної промисловості.

Слід зазначити, що протягом останнього десятиріччя основними постачальниками виступають різноманітні види господарств населення. На вітчизняному ринку лише одна третина валового виробництва молока припадає на підприємства різноманітних форм власності, 70 % - це постачання молока від господарств населення.

Дуже схожа тенденція в долі виробників спостерігається на регіональному ринку (рис.2).

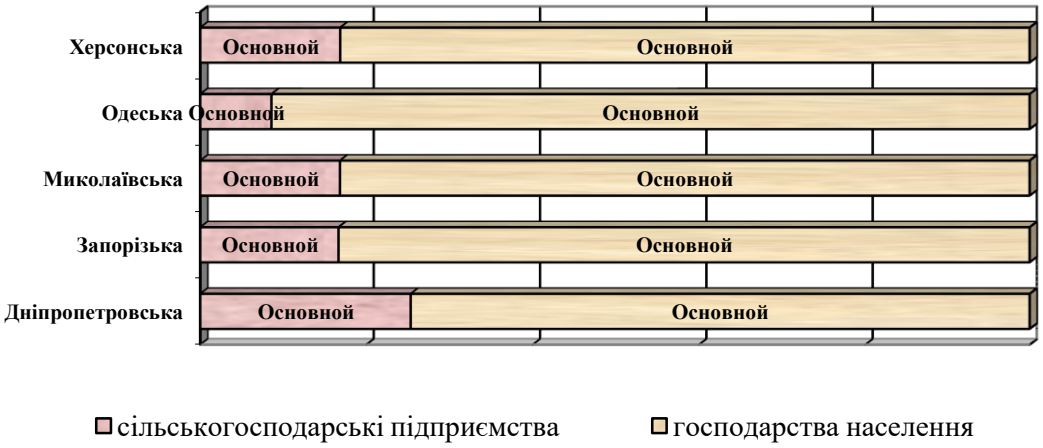


Рисунок 2. Структура виробників молока за категоріями в 2020 році на регіональному ринку

Отже, відповідно, видова структура виробників за областями регіону відрізняється від загальноукраїнської. В Херсонській, Миколаївській та Запорізькій областях майже 85% молока виробляється та постачається на ринок господарствами населення. В Одеській області на їх долю припадає більше 90%, лише тільки в Дніпропетровській області четверта частина валового виробництва припадає на сільськогосподарські підприємства.

Відповідно структура виробників молока має вплив на динаміку виробництва цієї продукції за категоріями господарств в областях Південного регіону (табл. 2).

В сільськогосподарських підприємствах Запорізької, Миколаївської та Херсонської області динаміка валового виробництва молока в продовж аналізованого періоду має більш менш стабільний характер. На підприємствах даних областей в період з 2016 року спостерігається зростання, особливо в Херсонській та Миколаївської областях на 9,8% та 16,1% відповідно. Проте однаково негативна динаміка спостерігається на підприємствах Одеської та Дніпропетровської областей, де рівень виробництва молока в 2020 році порівняно з 2016 роком скоротився на 10,4 та 11,9 тис. тон відповідно

за областями, при чому дана тенденція визначається зі зменшенням в інтервалі в середньому 3-5 тис. тон щорічно.

Таблиця 2.

Динаміка виробництва молока за категоріями в областях Південного регіону*, тис. тон

Області регіону	Роки					Зміна 2020р. до 2016р. у	
	2016	2017	2018	2019	2020	%	+-
Виробництво молока у господарствах усіх категорій							
Дніпропетровська	319,5	300,7	294,3	285,4	275,8	86,32	-68,80
Запорізька	259,5	260,7	243,9	220,1	202	77,84	-58,70
Миколаївська	341,6	342,2	324,6	299	278,5	81,53	-65,30
Одеська	363,3	348,6	334,8	321	309,6	85,22	-75,70
Херсонська	296,1	293,3	284,4	283,3	266,2	89,90	-33,80
Виробництво молока у підприємствах							
Дніпропетровська	75,9	70,4	70,9	70,6	69,8	91,96	-11,90
Запорізька	33,5	36,8	37,2	33,4	33,6	100,30	1,10
Миколаївська	40,3	41,6	46,3	47,4	46,8	116,13	9,00
Одеська	33,9	32,7	32,3	29,9	26,5	78,17	-10,40
Херсонська	40,8	42,7	45,1	46,5	44,8	109,80	4,80
Виробництво молока у господарствах населення							
Дніпропетровська	243,6	230,3	223,4	214,8	206,0	84,56	-56,90
Запорізька	226	223,9	206,7	186,7	168,4	74,51	-59,80
Миколаївська	301,3	300,6	278,3	251,6	231,7	76,90	-74,30
Одеська	329,4	315,9	302,5	291,1	283,1	85,94	-65,30
Херсонська	255,3	250,6	239,3	236,8	221,4	86,72	-38,60

*Побудовано за даними збірника «Тваринництво України», 2020 р. та статистичної інформації Державної служби статистики.

Спостереження динаміки виробництва молока в господарствах населення регіону дають підстави стверджувати, що основним чинником впливу на зменшення виробництва молока в регіоні є величезне падіння валових надоїв молока в господарствах населення в період останніх років. Зазначимо, що в розрізі областей регіону, відчутне зменшення відбулось в Миколаївській (13,1%) та Запорізькій (15,5%) областях, в інших областях регіону негативна динаміка перебуває в межах 14-15% відносно рівня 2016 року. Зауважимо, що тенденція значного зниження в усіх областях регіону почалась переважно з 2018 року (табл. 3).

Можемо стверджувати, що основними факторами формування регіонального ринку молока виступають виробничі чинники, які формують наповненість ринку даною проекцією. Об’єктом виробничих факторів внутрішнього середовища є валове виробництво молока, на рівень якого впливають екстенсивні та інтенсивні напрями.

Таблиця 3.

Індекси зміни факторів впливу на рівень виробництва молока у господарствах усіх категорій областей Південного регіону*

Області регіону	Роки				
	2016**	2017	2018	2019	2020
індекси поголів'я корів					
Дніпропетровська	73,10	0,98	1,003	0,95	0,96
Запорізька	58,60	0,99	0,94	0,90	0,88
Миколаївська	79,90	0,97	0,96	0,82	0,89
Одеська	100,0	0,96	0,98	0,99	0,96
Херсонська	69,90	0,98	0,98	0,93	0,84
Всього по регіону	381,50	0,98	0,97	0,92	0,91
індекси середньорічного надою на 1 голову					
Дніпропетровська	4370,7	0,96	0,98	1,02	1,01
Запорізька	4428,3	1,01	0,99	1,005	1,04
Миколаївська	4275,3	1,03	0,99	1,13	1,05
Одеська	3633,0	0,99	0,98	0,97	0,99
Херсонська	4236,1	1,01	0,99	1,07	1,12
Всього по регіону	4141,5	1,002	0,98	1,03	1,03

*Побудовано за даними збірника «Тваринництво України», 2020 р. та статистичної інформації Державної служби статистики.

**Наведені значення показників для розрахунку індексів

Продуктивність корів обумовлюється багатьма факторами: це і рівень повноцінності годівлі, мікроклімат, умови утримання тварин та інші фактори зовнішнього середовища. Проте, швидко підвищити рівень продуктивності корів за раціонального регулювання цих факторів не можливо оскільки рівень, зумовлений їх спадковими можливостями, які досягаються селекцією. Порівняно з факторами середовища, останні забезпечують стійке збільшення продуктивності існуючого покоління, навіть в залежності від природно-кліматичних умов [5].

Проте і екстенсивний напрям збільшення виробництва (зростання поголів'я молочного стада) не для всіх виробників є прийнятим. Збільшення поголів'я – це капіталомісткий захід, потребує наявність вкладень на: облаштування та технічне оснащення молочних ферм, придбання молодняка тварин, збільшення кормової бази, тощо. Цим пояснюється щорічне скорочення поголів'я корів.

Відповідно до результатів досліджень зазначимо, що скорочення поголів'я корів в усіх областях регіону відбувається з однаковою тенденцією. Одночасно останні два роки досліджуваного періоду спостерігається тенденція зростання середньорічного надою в розрахунку на 1 голову худоби молочного стада. Винятком є тільки Одеська область, яка має динаміку зменшення надою молока від однієї

корови. Слід також відмітити, що досить різняться зміни чинників за категоріями господарств (табл. 4).

Таблиця 4.

Динаміка поголів'я корів та середньорічного надою молока на 1 голову в господарствах населення областей Південного регіону*

Області регіону	Показники	Роки					Зміна 2020р. до 2016р. у	
		2016	2017	2018	2019	2020	%	+-
Дніпропетров-ська	поголів'я корів, тис. гол	57,9	57,4	57,9	54,9	53,3	92,1	-4,6
	середньорічний надій на 1 голову, кг	4207,3	4012,2	3858,4	3912,6	3864,9	91,9	-342,3
Запорізька	поголів'я корів, тис. гол	51,4	51,4	48,1	42,4	37,6	73,2	-13,8
	середньорічний надій на 1 голову, кг	4396,9	4356,0	4297,3	4403,3	4478,7	101,9	81,8
Миколаївська	поголів'я корів, тис. гол	72,5	71,1	67,9	53,7	47,7	65,8	-24,8
	середньорічний надій на 1 голову, кг	4155,9	4227,8	4098,7	4685,3	4857,4	116,9	701,6
Одеська	поголів'я корів, тис. гол	89,0	86,1	85,3	84,5	82,0	92,1	-7,0
	середньорічний надій на 1 голову, кг	3701,1	3669,0	3546,3	3445,0	3452,4	93,3	-248,7
Херсонська	поголів'я корів, тис. гол	63,5	62,1	60,9	55,9	46,2	72,8	-17,3
	середньорічний надій на 1 голову, кг	4020,5	4035,4	3929,4	4236,1	4792,2	119,2	771,7

*Побудовано за даними збірника «Тваринництво України», 2020 р. та статистичної інформації Державної служби статистики.

Дослідженнями встановлено, що основними постачальниками молока на регіональний ринок виступають власники особистих господарств.

Наведені дані свідчать про вже зазначені твердження, скорочення поголів'я молочного стада відбулось в усіх господарствах населення областей, що відносять до Південного регіону. Більшими темпами спостерігається скорочення в Запорізькій (16,8%), Миколаївській (34,2%) та Херсонській (17,2%) областях. В інших областях поголів'я корів скоротилось в середньому на 8%. Зауважимо, що позначається одночасно зростання надою в розрахунку на 1 голову в середньому за рік саме в тих областях, де існує скорочення поголів'я. В звітному році продуктивність корів в Запорізькій області зросла порівняно з 2016 роком майже на 82 кг, в Миколаївській області надій на 1 голову

збільшився на 700 кг, а в Херсонській – на 771,7кг. Дана тенденція свідчить про підвищення інтенсивності молочного скотарства в цих областях.

Стосовно кількісних та якісних показників сільськогосподарських підприємств регіону, що займаються виробництвом молока можна відмітити, що при скороченні поголів'я корів в середньому на 1,7 тис. голів в цілому по регіону, середньорічний надій на одну голову має тенденцію до зростання майже на 1000 кг в період 2016-2022рр., темп зростання продуктивності коливався в межах 15-32%.

Також, слід зауважити, що продуктивність корів на підприємствах перевищує середньорічний показник в господарствах населення, зокрема в 2020 році даний показник в приватних господарствах регіону становив в середньому 4162,6кг, в той час як на сільськогосподарських підприємствах - 5886,1 кг /гол.

Висновки. Таким чином, ринок молока в Україні та в Південному регіоні в аспекті товаровиробництва за останні п'ять років характеризується як позитивними так і негативними тенденціями. Не беручи до уваги певну недосконаліть і неналагодженість системи функціонування, вітчизняний ринок і зокрема регіональний мають потенціал для економічного зростання. Можливість підвищення продуктивності корів до європейських рівнів, збільшення поголів'я можливе за рахунок покращення інвестиційних умов, державного датування, використання агромаркетингу, вдосконалення взаємовідносин між всіма суб'єктами даного ринку

Список використаних джерел

1. А.В. Рябчик, О.П. Волинець Ринок продукції тваринництва в Україні: сучасний стан та перспективи розвитку. *Агросвіт*, №11. 2014. С. 38-43

2. Мінімізація економічних ризиків діяльності сільськогосподарських підприємств на засадах маркетингу: монографія / С.І. Чеботар, Я.С. Ларіна, О.П. Луцій та ін. К.: ТОВ «Аграр Медіа груп», 2012. 362с.

3. Статистичний збірник «Тваринництво України» Державна служба статистики України / за ред. Олега Прокопенка. Київ, 2020. С.158

4. Сайт Державної служби статистики України. URL: http://www.ukrstat.gov.ua/

5. Болтянська Л.О. Тенденції розвитку галузі тваринництва в Південному регіоні України. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-26

6. Hrytsaienko M., Hrytsaienko H., Andrieieva L. The Role of Social Capital in Development of Agricultural Entrepreneurship. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. 2019. pp. 427-440.

7. Korobka S., Syrotyuk S., Zhuravel D., Boltianskyi B., Solar dryer with integrated energy Unit. *Problemele energeticii regionale*, 2 (50) 2021. P. 61-75. https://doi.org/10.52254/1857-0070.2021.2-50

8. Boltianskyi B., Sklyar R., Boltyanska N., Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes* 2021, 9 (7), 1144. https://doi.org/10.3390/pr9071144.

9. Tebenko V. M., Vlasiuk Y. O., Hrybova D. V., Biliaiev S. S. The influence of small business spreading on the dynamics of the labor costs share in value added generated by leading industries of Ukrainian economy. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2018. Vol 3, No 26.

10. Журавель Д.П., Болтянський Б.В., Скляр Р.В., Болтянська Н.І. Підвищення ефективності функціонування молочно-товарної ферми на прикладі ПП «Могучий» Мелітопольського району Запорізької області. *Тваринництво сьогодні*. Київ, 2021. №3. С.18-29.

Стаття надійшла до редакції 12.12.2021 р.

L. Boltianska
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

CURRENT STATE AND TRENDS OF THE REGIONAL MILK MARKET

Summary

The article analyzes the current state of the domestic and regional milk market, identified development trends. The main task of the dairy industry is to form a supply in the market of milk and dairy products to meet the needs of the population in the necessary food products. Dairy farming, like the entire livestock industry, occupies an important position in the structure of the food industry of Ukraine, as dairy products are the basis of a healthy diet and at the same time a constant component in the production of various food products. Observations show that the functioning of the milk market today requires an objective assessment of the real state of the main elements of the market environment: supply and demand. It is the demand in the milk market that ensures the stability and confidence of producers and enterprises in the dairy industry. In this case, the formation of supply, respectively, gross milk production is carried out depending on the number of livestock, their productivity, technology intensity and capital intensity of the industry. Recently, there has been a trend towards an annual decrease in milk production in both Ukraine and the Southern region.This was due to the dynamic reduction of dairy animals, due to the refusal of agricultural producers to develop this industry and reorient to more profitable types of crop production. cows. Among the regions of the Southern region, this is especially true in Kherson and Mykolaiv regions. The importance of the regions of this region in milk production and supply to the market is almost the same. The time trend

shows that the main suppliers of milk among the categories of farms in Ukraine and the region are households, whose market share is about 85%

Key words: livestock industry, number of animals, animal productivity, milk market, factors of influence, market trends.

Л.О. Болтянская
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РЕГИОНАЛЬНОГО РЫНКА МОЛОКА

Аннотация

В статье наведен анализ современного состояния отрасли отечественного и регионального рынка молока. Основной задачей молочной промышленности является формирование предложения на рынке молока и молочных продуктов для обеспечения потребностей населения в необходимых продуктах питания. Именно спрос на рынке молока обеспечивает стабильность и уверенность у товаропроизводителей и молочной промышленности. При этом формирование предложения молока осуществляется в зависимости от количества поголовья животных молочного стада, их продуктивности, интенсивности технологий и фондоемкости отрасли. В последнее время наблюдается тенденция к ежегодному уменьшению производства молока как в Украине, так и в Южном регионе. Причиной тому стало сокращение поголовья животных молочного направления, что объясняется отказом агропроизводителей заниматься развитием этой отрасли и переориентацией на более рентабельные виды растительного агропроизводства. Среди областей Южного региона особенно это отражаеться в Херсонской и Николаевской областях. Временная тенденция свидетельствует, что основными поставщиками молока среди категорий хозяйств Украины и региона являются хозяйства населения, доля которых на рынке занимает около 85%.

Ключевые слова: отрасль животноводства, численность поголовья животных, продуктивность животных, рынок молока, факторы влияния, тенденции развития рынка.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-25

УДК 663.81:664.8.037.1

О. В. Василишина, к.с.-г.н. ORCID: 0000-0002-1066-4009
А. О. Чернега, к. с.-г. н., ORCID: 0000-0002-4511-8331
О. С. Рибчак, к. е. н. ORCID: 0000-0002-8724-6673
Уманський національний університет садівництва

РОЗРОБКА СОРБЕТУ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Анотація. Стаття присвячена розробці сорбетів з оптимальним рецептурним співвідношенням та технологічними характеристиками із застосуванням плодово-ягідної сировини: смородини, яблук, вишні. Розробка рецептури десертів дозволяє випускати низькокалорійні вироби з підвищеним вмістом вітамінів, мікро- та макроелементів, спростити технологічний процес виробництва в цілому і отримувати заморожені продукти високої якості з значним вмістом антиоксидантів, що дасть змогу підвищити якість готової продукції, розширити асортимент заморожених десертів.

Ключові слова: сорбет, рецептура, вишні, яблука, смородина.

Постановка проблеми. Сорбет – вид безмолочного морозива. Основою сорбетів є фрукти, фруктові соки або фруктові пюре [1]. В Європі сорбет подають в ресторанах між зміною страв. Вважається, що сорбет покращує травлення і освіжає смакові рецептори. Заморожений сорбет інколи служить як закуска, або часто є десертом і подається, як і морозиво в креманках. Час від часу сорбет заморожують не в повному об’ємі і вживають його в якості холодного напою. По-перше, інгредієнти сорбета абсолютно натуральні і підлягають контролю. Фруктовий сорбет рекомендується тим хто притримується дієти для схуднення або оздоровлення, тому що його готують з фруктів і ягід без цукру, або з замінником: в цьому випадку прихильники натурального харчування, зможуть насолоджуватися природним смаком продуктів. Він чудово освіжає в спекотний день, дає енергію, тонізує організм, забезпечує його глюкозою і втамовує голод. Крім того, процес приготування його дуже простий і зрозумілий та за останні кілька років серед населення чітко формується тенденція до ведення здорового способу життя [2–4].

Аналіз останніх досліджень. Розробка сорбетів з оптимальним рецептурним співвідношенням ціни, дозування ваги та технологічних характеристик дозволяє кількісно та якісно змінювати набір сировини,

© О. В. Василишина, А. О. Чернега, О. С. Рибчак

випускати низькокалорійні вироби з підвищеним вмістом вітамінів, мікро- та макроелементів, спростити технологічний процес виробництва в цілому і отримувати заморожені десерти високої якості з природними антиоксидантами, що на сьогоднішній день є досить актуальним. Вагомим завданням є підвищення якості готової продукції, розширення асортименту заморожених десертів. Сорбет складається виключно з цукру ягід, фруктів, овочів. Споживча, харчова, біологічна і енергетична цінність заморожених десертів визначається залежно від видів використаної сировини та вмістом в ній основних харчових речовин [4–7].

Формулювання цілей статті. Метою досліджень було обґрунтування використання плодів із значним вмістом біологічно активних речовин для збагачення десертів, зокрема сорбету.

Впродовж 2020−2021 років в лабораторіях кафедри технологій харчових продуктів Уманського національного університету садівництва виконувалася експериментальна частина роботи.

Предмет дослідження – вишня, яблука, чорна смородина, плодово-ягідний напівфабрикат, сорбет. Об’єктом досліджень була технологія замороженого сорбету.

Основна частина. Розроблення рецептури сорбету здійснювали відповідно до ДСТУ 3946-2000 Продукція харчова. Основні положення [8]. Для проведення досліджень використовували органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні методи. Дослідження фізико-хімічних показників проводили в свіжій та замороженій сировині, напівфабрикатів та експериментальних зразків сорбету.

Сировина та матеріали, використані під час дослідження відповідали вимогам нормативної документації за показниками безпеки.

Дослідження фізико-хімічних показників напівфабрикатів та готової продукції (сорбету) проводили за стандартними методиками: масової частки сухих розчинних речовин − рефрактометричним методом за ДСТУ ISO 2173:2007 [9]; цукрів − за фериціанідним методом за ДСТУ 3661-97 [10]; масової частки титрованих кислот (у перерахунку на яблучну або лимонну кислоти) методом об’ємного титрування за ДСТУ 4957:2008 [11]; визначення вітаміну С − йодометричним методом за ДСТУ ISO 6557-1:2015 [12]; органолептична оцінка за ДСТУ 8449:2015 [13]; визначення каротину за ДСТУ 4305:2004 [14]; пектинові речовини визначали Си-пектатним методом [15]; pH – потенціометричним методом за ДСТУ EN 1132:2005 [16]; масову концентрацію фенольних речовин за методом Фоліна-Чокальтеу [17]; глюкоацидометричний показник (коефіцієнт) визначали як відношення вмісту цукру до кислоти.

Дослідження проводили у трьох повторностях. Математичну обробку отриманих результатів досліджень проводили за В. О. Єщенком на комп'ютері за програмою "Exel 2000" [18].

У дослідних плодах та ягодах проводили визначення вмісту сухих розчинних речовин, цукрів, титрованих кислот, аскорбінової кислоти й пектинових речовин. Результати досліджень наведено в табл. 1.

Як видно з даних таблиці після заморожування плодів та ягід відбувається зменшення вмісту деяких компонентів хімічного складу продукції. За дослідними даними зниження вмісту сухих розчинних речовин в межах 8,2−30%. Найнижчі втрати вмісту сухих розчинних речовин зафіксовано в смородині (8,2%), найвищі – у вишні – (30%).

Таблиця 1

Фізико-хімічні показники плодів і ягід до і після заморожування

Назва культури	Масова частка, %								Масова концентрація вітаміну С, мг/100 г	
	сухих розчинних речовин		загальних цукрів		титрованих кислот		пектинових речовин			
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Вишня	15,6	10,9	10,8	10,2	1,24	1,28	0,75	0,71	20,1	15,0
Смородина чорна	13,4	12,3	7,7	7,2	2,14	2,20	0,61	0,50	150,7	140,6
Яблука	12,6	11,1	9,6	7,1	0,70	0,76	1,70	1,42	9,6	8,1
НІР $_{05}$	*0,7*		*0,7*		*0,2*		*0,9*		*0,7*	

Значне зменшення вмісту вітаміну С спостерігали у яблуках 15,7%, вишні – 25,4%, смородини – 6,7%. Зменшення вмісту аскорбінової кислоти в досліджуваній сировині пов'язано з проходженням ферментативного окиснювального процесу. Так як під час заморожування активність ферментів сповільнюється, а під час розморожування – ферменти класу оксидоредуктаз (аскорбатпероксидаза) активізуються тому аскорбінова кислота окислюється [19].

Оскільки в процесі дефростації плодів і ягід проходить перехід нерозчинного протопектину у розчинний вміст пектинових речовин в чорній смородині зменшився на 18%, в яблуках на 16,5%,у вишні на 5,3%.

Після заморожування відбулося підвищення титрованих кислот. У порівнянні зі свіжими, титрована кислотність заморожених плодів підвищується на 2,8−8,6%. Протягом розморожування плодово-ягідної сировини окисно-відновні процеси проходять в сторону окиснення, що

визначає якість продукту. Дефростація визначається за ступенем активності ферментів окиснювальної групи – оксидоредуктаз, аскорбатпероксидази, каталази й пероксидази [20].

Процес заморожування плодів та ягід проходить із зменшенням вмісту цукрів та підвищенням титрованих кислот. Вміст яких у плодах визначається глюкоацидометричним індексом (ГАІ). Якщо ГАІ знижується то смак плодів і ягід кислий. Значення глюкоацидометричного індексу сировини до та після заморожування наведено в табл. 2.

Встановлено, найменше значення ГАІ після дефростації в яблуках і складає 4,4 од. Зниження індексу пов'язане із погіршенням органолептичних показників плодів за низьких температур після заморожування.

Таблиця 2

Глюкоацидометричний індекс плодово-ягідної сировини

Назва сировини	Глюкоацидометричний індекс плодів і ягід	
	свіжих	після дефростації
Вишня	8,7	8,0
Смородина чорна	3,6	3,3
Яблука	13,7	9,3

Отже, заморожування продукції впливає на проходження біохімічних процесів. Так як в процесі заморожування в плодово-ягідній сировині проходить гідроліз сахарози що призводить до зниження цукру, підвищення вмісту титрованих кислот, перетворення нерозчинного пектину у його розчинний, окиснення аскорбінової кислоти. Усі процеси відбуваються під впливом ферментів що містяться в сировині та проходженням гідролітичних реакцій. Якість продукції визначають біохімічні процеси, що проходять під час заморожування і дефростації.

На основі проведених досліджень було розроблено заморожений плодово-ягідний десерт – збитий заморожений десерт (сорбет), що складався із плодово-ягідного пюре й цукрового сиропу з додаванням як стабілізатора пектину.

Розроблений плодово-ягідний десерт відзначився натуральністю, без теплового оброблення сировини перед заморожуванням, значною харчовою та біологічною цінністю, характерною для плодово-ягідної сировини. До складу замороженого десерту входять – цілі ягоди, подрібнені фрукти, фруктове або ягідне пюре, вода, цукор і сухий яблучний пектин.

Для отримання продукту функціональної дії та привабливими смаковими якостями за розробленою оптимізацією рецептурних

компонентів сорбетів, знаходили певне співвідношення частин плодово-ягідної сировини.

За співвідношенням харчових компонентів (табл. 3) розроблено дослідні зразки сорбетів із вмістом плодово-ягідної сировини 9,5−38%, цукрового сиропу 20%, пектину 1%.

Таблиця 3

Співвідношення харчових компонентів для сорбету

Назва харчового компонента	Номер зразка		
	1	2	3
Вишня	38	9,5	9,5
Яблуко	9,5	9,5	38
Чорна смородина	9,5	38	9,5
Цукор	20	20	20
Пектин	1	1	1
Вода	22	22	22

Варіанти розроблених сорбетів та їх рецептурне співвідношення компонентів наведено в табл. 3.

Наведено органолептичну оцінку дослідних зразків за 10 бальною системою. Результати дегустаційної оцінки сорбетів наведено в табл. 4.

За проведеною органолептичною оцінкою заморожених десертів встановлено середній бал та знайдено профілі сенсорних характеристик (рис. 1).

За результатами дегустаційної оцінки відрізнявся 1 варіант, який мав рівномірну кристалічну подрібнену консистенцію, червоний колір, солодкий смак з незначною кислинкою і фруктово-ягідний аромат. 2-й і 3-й варіанти сорбету характеризувалися нерівномірною щільністю з незначними грубими частинками з відчуттям кислого смаку і смородиновим або яблучним ароматом.

Таблиця 4

Органолептична оцінка якості сорбетів

Номер зразка	Органолептичні показники					Середній бал
	консис-тенція	колір	аромат	смак	зовнішній вигляд	
Зразок 1	9,6	9,5	9,3	10,0	10,0	9,7
Зразок 2	8,1	9,6	9,1	8,4	10,0	9,0
Зразок 3	9,0	9,8	8,9	9,8	9,9	9,4
$НІР_{05}$						*0,8*

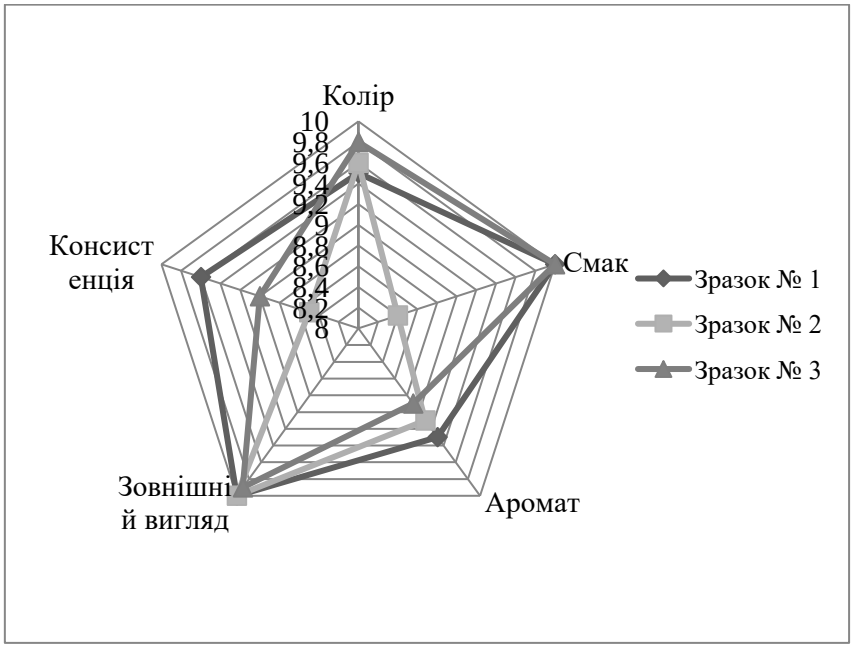


Рисунок 1. Дегустаційна оцінка якості сорбетів

За зовнішнім виглядом сорбет – порція одношарового десерту, обумовлена геометрію дозуючого пристрою та споживчого пакування. Консистенція – щільна. Структура однорідна, без відчутних кристалів льоду та часток цукру. Смак і аромат освіжаючий переважає насичений смак вишні. Колір червоно-фіолетовий, рівномірний по всій масі продукту.

На основі результатів досліджень та дегустаційною оцінкою якості сорбетів доведено, що найбільш приємний смак і аромат мав зразок сорбет № 1 (рис.1). Тому його обрано для подальших досліджень та впровадження в виробництво. Рецептура замороженого сорбету та необхідні харчові компоненти наведені в табл. 5.

Таблиця 5

Сорбет «Сонячний»

Найменування харчових компонентів	Брутто, г	Нетто, г
Вишня	420	380
Яблуко	130	95
Чорна смородина	110	95
Цукор	86	86
Пектин	4,3	4,3
Вода	339,7	339,7
Вихід	-	1000

На основі досліджень фізико-хімічних показників якості сорбету було встановлено його харчову цінність (табл. 6).

Таблиця 6

Фізико-хімічні показники сорбету «Сонячний»

Назва десерту	Масова частка, %				Масова концентрація, мг/100 г		pH
Сорбет Сонячний	сухих речовин	титрованих кислот	пектинових речовин	вологість	аскорбінової кислоти	фенольних речовин	
	15,3± 0,20	1,5± 0,10	0,71± 0,10	84,5± 3,0	9,5± 0,20	341± 8,0	3,3± 0,1

Як видно з даних таблиці сорбет цінний на біологічно –активні речовини – вітамін С (9,5 мг/100 г), фенольні (341 мг/100 г) і пектинові речовини. Наявність у складі сорбету сухих речовин (15,3%), в тому числі цукрів і кислот (1,5%), зумовлює смак продукту та його поживну цінність. Так як нормована порція сорбету складає 250 г та за підрахунком на порцію сорбету за вмістом пектину (1,8%), фенольних речовин (852,5 мг/100г) та вітаміну С (23,8 мг/100г) його можна вважати продуктом оздоровчого харчування. Вміст із розрахунку БАР в порції сорбету із складом 250 г, враховуючи фізіологічну норму споживання за добу наведено в табл. 7.

Таблиця 7

Вміст БАР в 1 порції сорбета «Сонячний»

Назва готового продукту	Вміст		
	вітаміну С, мг/100 г	пектинових речовин, %	фенольних сполук, мг/100 г
Фізіологічна норма споживання за добу	80	5	250
Готовий продукт (250 г)	23,8	1,8	852,5
Відсоткове відношення до норми споживання на добу,%	29,8	36	341

Висновки.

1. Встановлено хімічний склад плодово-ягідної продукції та біологічну цінність. За вмістом аскорбінової кислоти та фенольних речовин відрізнялись ягоди чорної смородини та вишні − 184,6 мг/100 г і 1858мг/100 г та 22,2 мг/100 г і 1340 мг/100 г.

2. Визначено, що плоди і ягоди протягом 6 місяців заморожування мають втрати маси в середньому на 0,49−1,01%. При чому найвищі втрати маси в яблуках (1%).

3. Доведено, що дефростація сировини СВЧ-енергією сприяє меншій втраті соку (5,4−11,5%), порівняно із звичайним способом розморожування (7,2−13,7%).

4. Встановлено, що тривале заморожування плодово-ягідної сировини та її дефростація знижує якість продукту. Відбувається зниження вмісту сухих розчинних речовин в межах 8,2−30%, вітаміну С на 6,7−25,4%, пектинових речовин на 5,3−18%, значення глюкоацидометричного індексу зменшується на 3,3−9,3.

5. Встановлно хімічні та органолептичні показники якості сорбету «Сонячний». Відзначено значний вміст в його складі БАР – вітамін С (9,5 мг/100 г), фенольних речовин (341 мг/100 г) і пектинових сполук (0,71%).

6. Розраховано добове забезпечення організму людини за умови споживання 1 порції в кількості 250 г сорбету на добу забезпечить необхідну добову потребу організму у фенольних речовинах – у 3,4 рази, вітаміні С на 29,8%, пектинових речовин – на 36 %.

Список використаних джерел

1. ДСТУ 4734:2007. Морозиво плодово-ягідне, ароматичне, щербет, лід. Загальні технічні умови. [Чинний від 2008-01-01]. Київ, 2008. 36 с.

2. Зыбин М. Н. Новое в формировании структуры фруктов, ягод и овощей. *Пищевые ингредиенты: сырье и добавки.* 2017. № 2. С. 35–37.

3. Кирильченко М. В., Хомич Г. П. Розроблення технології фруктових соусів із використанням соків чорної смородини та порічок червоних. *Обладнання та технології харчових виробництв*. Донецьк, 2013. № 30 С. 352-356.

4. Skliar R., Skliar O. Directions of increasing the efficiency of energy use in livestock. *Current issues of science and education:* Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference. Rome, 2021. P. 171-176.

5. Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T.The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. *Processes.* 2021. Vol. 9, № 7. P. 1144. DOI: 10.3390/pr9071144.

6. Zhuravel D. Integrated approach to ensuring the reliability of complex systems. *Current issues, achievements and prospects of Science and education:* Abstracts of XII International Scientific and Practical Conference. Athens, 2021. P. 231-233.

7. Manita I. Y., Komar A. S. Justification of the energy saving mechanism in the agricultural sector. *Engineering of nature management.* 2021. № 1 (19). P. 7-12. DOI: 10.37700/enm.2021.1(19).7.

8. Hong G. P., Nip W. K. Functional properties of precooked taro flour in sorbets. *Food Chem*. 1990. Vol. 36, № 4. P. 261–270. DOI: 10.1016/0308-8146(90)90065-C.

9. Anggraeni A. A., Setiawan W. A. A. Developing learning video of making mango sorbet for agriculture product processing course. *The 5th Annual Applied Science and Engineering Conference (AASEC 2020)*. P. 1-5. DOI: 10.1088/1757-899X/1098/2/022097.

10. Bogătean C. M., Tofană M., Racolța E. Evaluation of bioactive compounds from anew dietetic and functional sorbet. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*. 2019. Vol. 25, № 2. P. 42-45.

11. Naumovski N., Sergi D. Food Bioactives: Impact on Brain and Cardiometabolic Health—Findings from In Vitro to Human Studies. *Foods.* 2021. Vol. 10, № 5. P. 1045. DOI: 10.3390/foods10051045.

12. Hayes J., Kendrick O.W. Plate waste and perception of quality of food prepared in conventional vs commissary systems in the Nutrition Program for the elderly. *Journal of the American Dietetic Association*. 1995. Vol. 95, № 5. P. 585-586. DOI: 10.1016/S0002-8223(95)00159-X.

13. Pimentel T. C., Oliveira L. I. G., Souza R. C., Magnani M. Probiotic non-dairy frozen dessert: Technological and sensory aspects and industrial challenges. *Trends in Food Science & Technology*. 2021. Vol. 107. P. 381-388. DOI: 10.1016/j.tifs.2020.11.008.

14. Dimitrovski D., Dimitrovska-Vetadjoka M., Hristov H., Doneva-Shapceska D. Developing probiotic pumpkin juice by fermentation with commercial probiotic strain Lactobacillus casei. *Journal of Food Processing and Preservation*. 2021. Vol. 45. P. 3. DOI: 10.1111/jfpp.15245.

15. Konuray G., Erginkaya Z. Quality evaluation of probiotic pasta produced with Bacillus coagulans GBI-30. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2020. Vol. 66. P. 102489. DOI: 10.1016/j.ifset.2020.102489.

16. ДСТУ 3946-2000. Система розроблення і поставлення продукції на виробництво. Продукція харчова. Основні положення. Київ: Держстандарт України, 2000. 24 с.

17. ДСТУ ISO 2173:2013 (ISO 2173:2003, IDT). Продукты переработки плодов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ. [Дата введения 2015-07-01]. Москва: Стандартинформ, 2014. 12 с.

18. ГОСТ 8756.13–87. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров. [Дата введения 1989-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2010. 11 с.

19. ГОСТ 25555.0-82. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения титруемой кислотности. [Дата введения 1983-01-01]. Москва: Стандартинформ, 2010. 4 с.

20. ГОСТ 24556-89. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С. [Дата введения 1990-01-01]. Москва: Изд-во стандартов, 1989. 11 с.

21. ДСТУ ISO 11035:2005. Дослідження сенсорне. Ідентифікація та вибирання дескрипторів для створення сенсорного спектру та багатобічного підходу (ISO 11035:1994, IDT). [Чинний від 2007-07-01]. Київ: Держстандарт України, 2005. 32 с.

22. ДСТУ 4305:2004. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Метод визначання вмісту каротину. [Чинний від 2005-07-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 11 с.

23. Арасимович В. В., Балтага С. В., Пономарева Н. П. Методы анализа пектиновых веществ, гемицеллюлоз и пектолитических ферментов в плодах. Кишинев: РИО АН МССР, 1970. 84 с.

24. ГОСТ 26188-84. Продукты переработки плодов и овощей, консервы мясные и мясорастительные. Метод определения pH. [Дата введения 1985-07-01]. Москва: Стандартинформ. 2010. 4 с.

25. ДСТУ 4373:2005. Фрукти, овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту поліфенолів. [Чинний від 2005-02-28]. Київ: Держстандарт України, 2006. 6 с. (Національний стандарт України).

26. Доспехов Б. А. Основы статистической обработки результатов исследований. Москва: Колос, 1979. 317 с.

27. Павлюк Р. Ю. Разработка технологии консервированных витаминных фитодобавок и их использование в продуктах питания профилактического действия: дис. ... докт. техн. наук: 05.18.13 / ОГАПТ Одесса, 1996. 446 с.

28. Розробка функціонального оздоровчого морозива з використанням наноструктурованих кріопаст із плодоовочевої сировини з рекордним вмістом БАР / Р. Ю. Павлюк [та ін.]. *Прогресивна техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі* / ХДУХТ. Харків, 2009. С. 41–48.

Стаття надійшла до редакції 21.10.2021 р.

O. Vasylyshyna, A. Chernega, O. Rybchak
Uman National University of Horticulture

DEVELOPMENT OF FUNCTIONAL SORBET

Summary

The article is devoted to the development of sorbets with the optimal recipe ratio and technological characteristics with the use of fruit and berry raw materials: currants, apples, cherries. The development of dessert recipes allows to produce low-calorie products with high content of vitamins, micro- and macronutrients, simplify the

production process as a whole and get high-quality frozen products with high antioxidant content, which will improve the quality of finished products, expand the range of frozen desserts.

The biological value of fruit and berry products has been established. Black currant and cherry berries had a significant content of ascorbic acid and phenolic substances - 184.6 mg / 100 g and 1858 mg / 100 g and 22.2 mg / 100 g and 1340 mg / 100 g.

During 6 months of freezing, the experimental fruits have a weight loss of an average of 0.49-1.01%. With the highest weight loss in apples (1%). Defrosting of raw materials with microwave energy contributes to less juice loss (5.4−11.5%), compared to the usual method of thawing (7.2−13.7%).

Freezing of fruit and berry raw materials and its defrosting reduces the quality of the product. The content of dry soluble substances decreases by 8.2−30%, vitamin C by 6.7−25.4%, pectin by 5.3−18%, the value of the glucoacidometric index decreases by 3.3−9.3. Significant content of BAR sorbets - vitamin C (9.5 mg / 100 g), phenolic substances (341 mg / 100 g) and pectin compounds (0.71%). Consumption of 1 serving in the amount of 250 g of sorbet per day will meet the body's need for phenolic substances - 3.4 times, vitamin C by 29.8%, pectin - by 36%.

***Key words*:** sorbet, recipe, cherries, apples, currants.

Е. В. Василишина, А. О. Чернега, Е. С. Рибчак
Уманский национальный университет садоводства

РАЗРАБОТКА СОРБЕТА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Аннотация

Статья посвящена разработке сорбетов с оптимальным рецептурным соотношением и технологическими характеристиками с применением плодово-ягодного сырья: смородины, яблок, вишни. Разработка рецептуры десертов позволяет выпускать низкокалорийные изделия с повышенным содержанием витаминов, микро- и макроэлементов, упростить технологический процесс производства в целом и получать замороженные продукты высокого качества со значительным содержанием антиоксидантов, что позволит повысить качество готовой продукции, расширить ассортимент замороженных десертов.

***Ключевые слова*:** сорбет, рецептура, вишни, яблоки, смородина.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-26

УДК 665.347.8:641.5

Л. В. Фіалковська, к.т.н., доц. ORCID: 0000-0002-4353-0963
Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ
E-mail: larisa_fialkova@ukr.net

ЕФЕКТИВНІ СПОСОБИ ОЧИЩЕННЯ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ ВІД ДОМІШОК

Анотація. В роботі проведений аналіз сучасного стану способів очищення соняшникової олії від супутніх домішок. Окреслено основні завдання олійно-жирової промисловості як цілісної системи господарювання та виробництва продовольчої сировини та харчових продуктів. Висвітлено вимоги щодо якості та особливостей виробництва рослинної олії, основні критерії її вибору споживачами та місце у системі здорового способу життя. Конкретизовано основні найбільш поширені методи рафінації олії. Запропоновано використання в якості адсорбентів природні дисперсні мінерали українських родовищ. Розроблено та науково обґрунтовано технологію виробництва відбіленої рослинної олії.

Ключові слова: олія, відбілювання, адсорбція, технологія, домішки.

Постановка проблеми. Олійно-жирова промисловість відіграє важливу роль у постачанні населення і низки галузей харчової промисловості рослинними оліями. Розвиток виробництва рафінованої олії знаходиться в прямому зв'язку зі зростанням сировинної бази [1, 2].

Для виробництва рослинної олії в Україні використовують олійну сировину, що складається в основному з насіння соняшнику.

Інтенсифікація сільського господарства при вирощуванні олійних культур останнім часом призвела до значної зміни сортових характеристик насіння і, як наслідок, до зміни якісного складу отриманих олій. Особливо наочно зазначений процес спостерігається на прикладі насіння соняшнику.

Соняшникова олія - висококалорійний харчовий продукт, що володіє дуже хорошими смаковими якостями, широко застосовується в харчовій промисловості (для виготовлення рибних та овочевих консервів, маргарину, різних кондитерських виробів, в хлібопекарському виробництві).

Рафіновані олії після проведення процесів гідратації і нейтралізації містять різного виду домішки (фосфоліпіди, пігменти, продукти окислення, мила та ін.). Присутність їх у оліях погіршує товарний вигляд

© Л. В. Фіалковська

і якість. Крім того, деякі з них ускладнюють процеси рафінації. У зв'язку з цим у виробництві рослинних олій велика увага приділяється процесу відбілювання, завданням якого і є поліпшення споживчих властивостей олій, їх товарного вигляду.

Аналіз сучасного стану адсорбційної рафінації олій показує, що досягнення в області теорії адсорбції, а також процесів і апаратів хімічної технології використовуються ще недостатньо.

Необхідно докорінне удосконалення та розробка нових методів дослідження процесу освітлення олій сорбентами, з'ясування можливостей вибору або одержання шляхом активації більш ефективних сорбентів, встановлення оптимальних для здійснення процесу відбілювання гідродинамічних умов.

Розробка ефективних способів очищення соняшникової олії від домішок є доцільною, оскільки основним завданням цієї роботи є створення сучасних безвідходних, екологічно чистих технологій отримання очищених рослинних олій з одночасним видаленням не лише характерних для цих середовищ домішок, але і катіонів важких металів, використовуючи дешеві і широкодоступні природні мінеральні адсорбенти.

Адсорбційні процеси є основою багатьох хіміко-технологічних та біологічних процесів на поверхні розділу фаз тверде тіло-рідина. Порівняно з іншими методами розділення сумішей, адсорбційні процеси мають низку переваг та дозволяють вилучати слідові кількості адсорбата. Однак деякі адсорбенти мають низьку ефективність видалення, вимагають високих витрат на виробництво та регенерацію, а також можуть генерувати вторинне забруднення і мати низьку ефективність при малому навантаженні забруднювача.

Стаття буде корисною у роботі науковців, практиків, студентів та спеціалістів у сфері харчової промисловості.

Аналіз останніх досліджень. Адсорбційні методи очищення і поділу газоподібних і рідких сумішей використовуються практично у всіх областях науки і техніки. В олійно-жировій промисловості широке застосування знаходить обробка олій природними активними або активованими глинами адсорбційна рафінація (відбілювання).

Ефективне відбілювання глиною є найважливішим етапом в переробці рослинної олії. Воно надає можливість знизити вміст небажаних розчинних домішок олії до зазначеного рівня. Саме тому з усіх стадій рафінації стадія відбілювання має найважливіше значення для забезпечення якості продукту [3, 9].

Зменшення забарвлення найбільш очевидний результат відбілювання харчових олій, але видалення незначних домішок дуже важливо в забезпеченні у кінцевому продукті прийнятного смаку, характеристик старіння і окислювальної стабільності.

Адсорбційне відбілювання також видаляє домішки, які діють як отрути каталізатора на стадії гідрогенізації (отруєння каталізатора, зменшення швидкості реакції гідрогенізації).

За допомогою адсорбційного відбілювання видаляються негідратовані фосфоліпіди. Цей тип фосфоліпідів стійкий до впливу реагентів під час попередніх стадій гідратації і лужної нейтралізації. Стадія відбілювання є критичною для забезпечення досить низького вмісту фосфору у відбіленій олії, щоб знизити до мінімуму його негативний ефект на наступних стадіях рафінації (дезодорації) і гідрогенізації [4, 6,].

Утворені в процесі нейтралізації натрієві солі жирних кислот (мила), що залишаються в олії, можуть негативно впливати на процес гідрогенізації та на смак і стабільність дезодорованої олії до окислення [5, 6].

Велика увага приділяється адсорбційній обробці олії як засобу зниження продуктів первинного окислення, які вимірюються пероксидним числом, та продуктів вторинного окислення, які вимірюються анізидиновим числом. Саме продукти вторинного окислення викликають наявність в олії небажаного запаху і поганих смакових якостей [56, 57, 63, 64, 65].

Кількість активованої глини, що використовується у відбілюванні, залежить від вмісту продуктів окислення в олії. При цьому пероксидне число відбіленої олії можна знизити до нуля.

Всупереч думці ряду дослідників, дезодорація не видаляє повністю небажані продукти окислення, так як деякі з них знаходяться в нелеткому стані при нормальних умовах процесу. При термічному розпаді гідропероксидів утворюються вторинні продукти окислення альдегіди, кетони, які сприяють подальшому окисленню олії. Отже, при подальшому зберіганні олії відбувається збільшення швидкості окислення, що погіршує стабільність органолептичних показників готової олії [7, 8, 9].

Що стосується металів (особливо заліза і міді), які діють як каталізатори окислення олії, то відбілювання значно знижує їх зміст в олії. Це позитивно впливає на стійкість олій до окислення і стабілізує органолептичні якості олій.

Процес адсорбційного рафінування та дезодорації олій полягає в контактуванні олії та адсорбента, що призвело до створення декількох схем і способів адсорбційної рафінації:

- перколяційний метод;
- «прес-відбілювання» (відбілювання в укладеному шарі глини);
- періодичний метод з поділом фаз на рамних фільтр-пресах;
- безперервний метод з поділом фаз на механізованих фільтрах.

Ефективність процесу адсорбції [3] залежить від хімічної природи та

концентрації адсорбованих речовин. Чим вища концентрація речовини, тим більша його кількість буде адсорбована. Для очищення рідин адсорбцією все більшого застосування знаходять невуглецеві сорбенти природного і штучного походження. Використання цих сорбентів зумовлено достатньо високою їх адсорбційною ємністю, селективністю, катіонообмінними властивостями деяких з них, порівняно низькою вартістю і доступністю. Найважливішими представниками мінеральних природних сорбентів є цеоліти та глинисті матеріали. Вони поширені і різняться розмаїттям властивостей та областей застосування. Природні сорбенти добувають безпосередньо поблизу місця використання, що постійно розширює межі їх застосування для очищення рідин.

Основними глинистими мінералами, які мають адсорбційні властивості, є палигорскіти та бентоніти. Сорбційна активність бентонітових глин пов'язана з величиною ємності їх обміну та типом катіонів обмінного комплексу, з наявністю в них кристалічної структури монтморилонітового типу, а також конституційної води, повне видалення якої за умови високих температур приводить до руйнування кристалічної решітки, спікання і втрати активності. Кислотна активація бентонітів помітно покращує їх адсорбційні і каталітичні властивості, але, як правило, погіршує механічну міцність. Тому застосування активованих бентонітів обмежується тільки технологіями контактного очищення.

Для відбілювання рослинних олій в якості сорбентів використовуються природні алюмосилікати монтморилонітової групи, активовані кислотою. Це найефективніші сорбенти. Їх отримують з бентонітів за допомогою обробки різними мінеральними кислотами. Обробка бентоніту мінеральними кислотами дає модифікований продукт з великою площею поверхні і кислотністю, який має підвищену адсорбційну і каталітичну здатність [10]. Відносна простота їх активування і доступність є перевагою цих сорбентів.

Технологія кислотної активації деяких глин, наприклад, монтморилоніту, сьогодні уже добре розвинена, в Україні можливе створення промислової установки з виробництва активованих монтморилонітів. Однак наразі виявлені більш ефективні глинисті мінерали, наприклад, палигорскіт, сапоніт та ін. Їх кислотна активація і ефективність одержуваних адсорбентів у відношенні до очищення харчових олій зовсім не вивчені. До того ж не достатньо вивчена ефективність очищення активованих монтморилонітів у технології відбілювання рослинних олій. Ключовий фактор ефективного адсорбційного очищення – це адсорбент, що застосовується.

Практично є 4 типи адсорбентів, що використовуються в олійно-жировій промисловості:

- активоване вугілля;
- силікагелі (трисіл, аеросіл та ін.);

- активовані природні сорбенти;

- неактивовані природні сорбенти (палигорскіт, монтморилоніт та ін.).

Основні вимоги, що пред'являються до адсорбентів [10]:

- висока адсорбційна активність у відношенні до домішок;

- висока адсорбційна ємність у відношенні до домішок і мінімальна оліємісткість;

- хороша фільтрованість суспензії «олія-адсорбент»;

- індиферентність адсорбента у відношенні до гліцеридів олії;

- біологічна та токсична інертність для людини.

На балансі Державного комітету запасів України зареєстровано і розробляється 5 родовищ цих глин із загальною кількістю понад 100 млн. т. Це Черкаське (104,7 млн. т.), Горбське (6,8 млн. т), Пижевське (0,113 млн. т), Бережанське (0,426 млн. т) і Кунцевське (0,55 млн. т).

Багато природних мінералів уже в початковому вигляді мають досить високі адсорбційні властивості у відношенні до води і легким вуглеводням. Для інших мінералів з метою підвищення адсорбційних властивостей потрібна попередня підготовка [3, 6, 7].

На жаль, промисловий видобуток бентонітових глин не передбачає їх переробку на потреби адсорбційних технологій очищення і регенерації як нафтових олій, так і харчових рослинних олій та жирів [10, 11].

Палигорскіт – природний сорбент. Він належить до структурного типу 2:1, має основний мотив побудови з двох сіток кремнекисневих тетраедрів, зчленованих з розташованої між ними катіонгідроксильною сіткою октаедрів. У октаедричних положеннях знаходиться Mg^{2+}, який частково заміщений на Fe^{2+} і Al^{3+}. Палигорскітові структурні елементи нескінченно продовжуються тільки в одному напрямку, а по ширині вони обмежені одним псевдогексагональним зчленуванням тетраедрів, які повернуті вершинами всередину шару [3].

Одна стрічка з'єднується з сусідніми через кисень в основах тетраедрів, причому вершини тетраедрів сусідніх стрічок розгорнуті в протилежну сторону [24].

Таким чином, між стрічками утворюються порожнини розміром 0,4х0,65 нм [25], які продовжуються по всій довжині кристала уздовж ланцюжків. Окремі кристали палигорскіту мають голкоподібну форму та об'єднані в агрегати, що здатні до розщеплення при певних умовах. Розмір частинок палигорскіту завдовжки менше 5 мкм при діаметрі кристалів до 10 нм.

Структурна формула палигорскіту [6]:

$$Mg_5(H_2O)_4(OH)_2[Si_4O_{10}]_4H_2O.$$

Реальний склад мінералу значно відрізняється від ідеальної формули і містить від 7 до 17% $A1_2O_3$, до 3,5% Fe_2O_3, а також Ca^{2+} та іонообмінні Na^+ і K^+. У зв'язку з ізоморфними заміщеннями палигорскіт має здатність

до катіонного обміну [7] в межах 18-30 мг.екв/100 г глини.

Значна частина поверхні палигорскіту знаходиться всередині каналів-порожнин кристалів. Їх заповнення дисперсійним середовищем залежить від величини молекул. Так молекули води розміром 0,27 нм проникають в канали безперешкодно, а сорбція всередині каналів великорозмірних гідратованих іонів і молекул, що перевищують розміри каналу, є складною та розвивається на зовнішній поверхні палигорскіту.

Палигорскіт був вибраний об'єктом дослідження в якості сорбенту для очищення харчових олій. У всьому світі традиційно використовується контактний спосіб відбілювання. Тому розробка ефективної та екологічно чистої технології відбілювання рослинних олій з використанням вітчизняних глин є надзвичайно важливим і актуальним завданням для підприємств олійно-жирової галузі.

Формулювання мети статті. Метою роботи є наукове обґрунтування та розробка способів підвищення якості і безпечності соняшникової олії, розробка технології виробництва рафінованої олії.

З огляду на вищевикладене, можна сформулювати основні напрямки досліджень:

- підбір дисперсних мінералів у природній та кислотно-активованій формі (природний палигорскіт, кислотно-активований монтморилоніт);
- розробка способу адсорбційного очищення харчових рослинних олій.

Основна частина. Дослідження органолептичних та фізико-хімічних показників рослинної олії в процесі виробництва здійснювали за допомогою загальноприйнятих методів аналізу, які викладені у відповідних стандартах і керівництвах з техно-хімічного контролю виробництва продукції, а також методами, що описані у спеціальній літературі.

Об'єктом дослідження служили промислові зразки соняшникової олії. Поширення соняшникової олії, як цінного харчового продукту в Україні, зумовило вибір його в якості найбільш придатної природної моделі при дослідженні і розробці методу адсорбційної рафінації.

Промислові зразки соняшникової олії були отримані за типовими технологічними режимами на лінії Вінницького оліє-жирового комбінату. Якісна характеристика використовуваних зразків різних партій соняшникової олії, що відібрані у різний час, наведена в табл. 1.

Результати аналізу показали, що всі зразки соняшникової олії характеризуються низьким вмістом фосфоліпідів і відрізняються один від одного за колірним і пероксидним числами.

Метою досліджень адсорбційного очищення є розробка та підбір високоефективних адсорбентів на основі природних дисперсних мінералів, які здатні швидко і якісно очищати рослинні олії; вивчення впливу різних чинників на процес адсорбційного очищення; розробка

режимів процесу адсорбційного очищення.

Таблиця 1

Якісні характеристики представлених зразків різних партій соняшникової олії

№ зразків	Масова частка фосфоровміс-них речовин,%	Кислотне число, мг КОН/г	Масова частка вологи,%	Колірн число, мг I_2	Пероксидне число, $^1/_2$О ммоль / кг
1	0,2	0,29	0,11	15	16,55
2	0,18	0,25	0,10	10	18,20
3	0,17	0,26	0,08	15	12,42
4	0,12	0,20	0,07	10	11,10
5	0,14	0,22	0,09	10	12,30

Як відомо, адсорбційне очищення зменшує кількість різних небажаних домішок рослинної олії, що дуже важливо для отримання високоякісних і стабільних кінцевих продуктів [8, 9,11]. Стандартними контрольними величинами, що визначають якість олій, як зазначено вище, є пероксидне число, колірне число, кислотне число, вміст фосфоліпідів [6, 14-18]. Хімічна рафінація, яка зараз широко використовується для поліпшення якості олій, знижує вміст фосфоліпідів до величин тисячних значень, але не в змозі зменшити вміст окислених і пероксидних сполук. На відміну від фізичних та хімічних методів рафінації, адсорбційне очищення забезпечує не тільки видалення пероксидних сполук, але і покращує інші якісні показники олії (колір, вміст важких металів, фосфоліпідів, мил) [7, 10, 11, 12, 13].

Результати дослідження відбілювання олії контактним методом на експериментально-промисловій установці наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Контактний метод адсорбційного очищення сояшникової олії природним палигорскітом

Показники	Значення
Кількість адсорбента, %, до маси олії	1,0
Гранулометричний склад адсорбента, мм	<0,1
Температура підготовки олії, °С	60
Температура олії під час подачі адсорбенту, °С	80
Температура відбілювання олії, °С	95
Пероксидне число олії до відбілювання, ½ О ммоль/кг	10,3
Пероксидне число олії після відбілювання, ½ Оммоль/кг	1,4
Тиск, мм.рт.ст	160

Базуючись на результатах досліджень адсорбційного очищення олії доцільно запропонувати технологічний режим для проведення відбілювання в промислових умовах із застосуванням контактного методу (табл. 3).

Таблиця 3

Технологічний режим адсорбційної очищення сояшникової олії контактним методом

Параметри	Значення	Час, хв
Витрата адсорбента , % , від кількості олії	1	-
Гранулометричний склад, мм	0,07-0,08	-
Витрата розчину лимонної кислоти, кг/т олії	1	-
Температура олії при вакуумованні, °С	60	60-90
Температура олії при подачі розчину лимонної кислоти, °С	60	20
Температура олії при подачі адсорбента, °С	80	15
Температура очищення олії, °С	95	30

На підставі проведених експериментально-промислових досліджень процесу очищення соняшникової олії контактним способом встановлено, що використання природного палигорскіту дозволяє отримувати якісну олію, яка відповідає необхідним вимогам.

Висновки

1. На підставі проведених системних досліджень ефективності адсорбційного очищення соняшникової олії природними дисперсними мінералами більше 10 різних родовищ України вперше встановлено, що найбільш ефективним адсорбентом є природний палигорскіт, який майже не поступається деяким активованим глинам.

2. Доведено, що в умовах адсорбційного очищення соняшникової олії можливе застосування неактивованого природного палигорскіту Черкаського родовища, що значно знижує собівартість процесу очищення, його простоту та відповідає вимогам ДСТУ до рафінованої олії.

3. Підібраний високоефективний адсорбент на основі природних дисперсних мінералів, який здатний швидко та якісно очищати рослинні олії; вивчений вплив різних чинників на процес адсорбційного очищення; розроблені режими процесу адсорбційноого очищення.

Список використаних джерел

1. Восконян О. С. Основные аспекты инноваций в производстве масложировых продуктов, безопасных для потребления. *Масложировая промышленность*. 2012. № 5. С. 28.

2. Гладкий Ф. Ф., Тимченко В. К, Демидов І. М. Технологія модифікованих жирів: підручник. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. 214 с.

3. ДСТУ 4570:2006. Жири рослинні та олії. Метод визначання пероксидного числа. [Чинний від 2008−01−01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 6 с. (Національний стандарт України).

4. ДСТУ ISO 662:2004. Жири тваринні і рослинні та олії. Визначання вмісту вологи та летких речовин (ISO 662:1998, IDT). [Чинний від 2006−01−01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 6 с. (Національний стандарт України).

5. ДСТУ ISO 5508-2001. Жири та олії тваринні й рослинні. Аналізування методом газової хроматографії метилових ефірів жирних кислот (ISO 5508:1990, IDT). [Чинний від 2003−01−01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с. (Національний стандарт України).

6. ДСТУ 4492:2005. Олія соняшникова. Технічні умови. [Чинний від 2007−01−01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 22 с. (Національний стандарт України).

7. ДСТУ 4350:2004. Олії. Методи визначання кислотного числа (ISO 660:1996, NEQ). [Чинний від 2005−10−01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 8 с. (Національний стандарт України).

8. Пешук Л. В., Носенко Т. Т. Біохімія та технологія оліє-жирової сировини. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 296 с.

9. Паронян В. Х. Технология жиров и жирозаменителей. Москва: ДеЛи принт, 2006. 760 с.

10. Фіалковська Л. В. Адсорбційне очищення соняшникової олії природними дисперсними мінералами: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.18.06 / Харківський держ. політехнічний ун-т. Харків, 1997. 19 с.

11. Modeling of mechanical and technological processes of the agricultural industry / E. B. Aliev et al. *INMATEH–Agricultural Engineering.* 2018. Vol. 54, № 1. P. 95-104.

12. Development of wave technologies to intensify heat and mass transfer processes / O. Burdo et al. *Eaestern-European Jurnal of Enterprise Tehnologies.* 2017. Vol. 4, № 11 (88): Technology and Equipment of Food Production, P. 34-42. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.108843.

13. Bandura V., Mazur V., Yaroshenko L., Rubanenko O. Research on sunflower seeds drying process in a monolayer tray vibration dryer based on

infrared radiation. *INMATEH–Agricultural Engineering.* 2019. Vol. 57, №. 1. P. 233-242.

14. Bandura V., Bulgakov V., Adamchuk V., Ivanovs S. Investigation of oil extraction from the canola and soybean seeds, using a microwave intensifier. *INMATEH–Agricultural Engineering.* 2018. Vol. 55, № 2. P. 45-52.

15. Pimentel D., Patzek T. W. Ethanol production using corn, switchgrass, and wood; Biodiesel Production Using Soybean and Sunflower. *Natural Resources Research*. 2005. Vol. 14, № 1. P. 65-76. DOI: 10.1007/s11053-005-4679-8.

16. Patzek T. W. A statistical analysis of the theoretical yield of ethanol from corn starch. *Natural Resources Research*. 2006. Vol. 15, № 3. P. 205-212.

17. United States Patent Application Publication US 2007/0141216 A1. Processed wheat product containing functional components in elevated amounts and processing method therefore / Makoto Kihara, Yoshihiro Okada, Osamu Ishikawa, Kazutoshi Ito, Pub. Date: Jun. 21, 2007.

18. United States Patent Application Publication US 2009/0098271 A1. Method of processed barley product / Norihiko Kageyama, Shingo Kawasaki, Seisuke Takaoka, Koichi Nakahara, Pub. Date: Apr. 16, 2009.

Стаття надійшла до редакції 31.10.2021 р.

L. Fialkovska
Vinnytsia Institute of Trade and Economics
of Kyiv National University of Trade and Economics

EFFECTIVE WAYS OF CLEANING SUNFLOWER OIL FROM IMPURITIES

Summary

The oil and fat industry plays an important role in supplying the population and a number of branches of the food industry with vegetable oils. The development of refined oil production is directly related to the growth of the raw material base. For the production of vegetable oil in Ukraine use oil raw materials, consisting mainly of sunflower seeds. Intensification of rural farming in the cultivation of oilseeds has recently led to a significant change in the varietal characteristics of seeds and, as a consequence, to a change in the quality of the oils obtained. This process is especially evident in the example of sunflower seeds. Analysis of the current state of adsorption refining of oils shows that advances in the theory of adsorption, as well as processes and apparatus of chemical technology are still underused. It is necessary to radically improve and develop new methods for studying the process of clarification of oils by sorbents, to clarify the possibilities of selection or production by activating more efficient sorbents, to establish optimal hydrodynamic conditions for the bleaching process.In the paper, an analysis of the modern state of methods of purification of sunflower oil from concomitant impurities

is carried out. The main tasks of the oil-fat industry as a holistic system of management and production of food raw materials and food products are outlined. The requirements for quality and features of production of vegetable oil are highlighted, the main criteria for its choice by consumers and place in a healthy lifestyle system. The basic most common methods of refinement of oil are specified. The use of natural disperse minerals of Ukrainian deposits are proposed as adsorbents. The technology of production of bleached vegetable oil is developed and scientifically substantiated.

Key words: oil, whitening, adsorption, technology, impurities.

Л. В. Фиалковская
Винницкий торгово-экономический институт КНТЭУ

ЕФФЕКТИВНЫЕ СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ПОДСОЛНЕЧНОГО МАСЛА ОТ ПРИМЕСЕЙ

Аннотация

В работе проведен анализ современного состояния способов очистки подсолнечного масла от сопутствующих примесей. Определены основные задачи масложировой промышленности как целостной системы хозяйствования и производства продовольственного сырья и пищевых продуктов. Освещены требования к качеству и особенностей производства растительного масла, основные критерии ее выбора потребителями и место в системе здорового образа жизни. Конкретизированы основные наиболее распространенные методы рафинации масла. Предложено использование в качестве адсорбентов природные дисперсные минералы украинских месторождений. Разработана и научно обоснована технология производства отбеленного растительного масла.

Ключевые слова: масло, отбеливание, адсорбция, технология, примеси.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-27

УДК 658.589:664

Л. М. Крижак, к.т.н. ORCID: 0000-0002-4882-897X
Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ
e-mail: liliakrizhak44@gmail.com

РОЛЬ ІННОВАЦІЙ ТА ІННОВАЦІЙНОГО ПРОЦЕСУ В РОЗВИТКУ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Анотація. Протягом багатьох років в економічній практиці існує думка про те, що для того щоб вижити в умовах вільної конкуренції, необхідно ефективно організовувати виробництво, налагоджувати збут продукції на основі впровадження у виробництво інноваційних технологій. Варто зазначити, що в умовах швидкозростаючої конкуренції, агресивного зовнішнього оточення, при постійному і динамічному розвитку бізнесу, доводиться кардинально переглядати сучасні підходи до сутності та специфіки інновацій та інноваційної діяльності. Інновації є стратегічний ресурс, без використання якого стає неможливим ефективне управління окремими бізнес-процесами на підприємствах промисловості.

Для вирішення головних завдань на всіх рівнях господарювання, важливо забезпечити інноваційний процес у харчовій промисловості. Необхідність приділити увагу всім етапах інноваційного процесу пов'язана з тим, що продукти харчування мають найчастіше стислими і короткими термінами зберігання, особливостями умов їх зберігання і доставки, необхідністю правильного співвідношення пропорцій тих чи інших корисних речовин. У зв'язку з цим потрібні дослідження і розробки, оскільки споживачів цікавлять: умови зберігання, терміни придатності, якість, склад, наявність поживних і корисних речовин в продуктах і т.д. [1, 2].

Ключові слова: харчова промисловість, інновації, інноваційний розвиток, управління інноваційними процесами.

Постановка проблеми. Входження до Світової організації торгівлі, відкритість економіки, актуалізують питання про необхідність забезпечення продовольчої безпеки країни. Державі важливо в таких умовах підтримати вітчизняних виробників продуктів харчування, вітчизняних постачальників харчової сировини, забезпечити їх конкурентоспроможність шляхом різних механізмів підтримки та

© Л. М. Крижак

стимулювання, що сприятиме зниженню імпорту продовольства, забезпечення внутрішнього ринку і експорту продовольчих товарів з заняттям певної ніші на світових ринках. У зв'язку з цим гостро постає питання про продовольчу самозабезпеченність.

Аналіз останніх досліджень. Методологічні та теоретичні основи дослідження інноваційної діяльності викладено в роботах таких науковців, як І. Ансофф, Л. Гітман, П. Друкер, Б. Карлоф, Б. Мадден, Р. Каплан, та ін. Питанням інноваційних процесів харчової промисловості України присвячені роботи М. Бутка, А. Гальчинського, В. Геєця, Л. Дейнеко, П. Купчак, А. Мамочки та ін.

США і Франція на 100 % самі забезпечують себе продовольством, Німеччина – на 9 3%, Японія, в силу бідного родючого ґрунту – на 50 % [3].

Харчова промисловість одна з галузей, що забезпечує заготівлю, транспортування, зберігання, переробку сільськогосподарської сировини, реалізацію кінцевого продукту, вона прямо і побічно пов'язана з галуззю виробництва:

- машинобудування для харчової промисловості;
- сільське господарство - джерело сировини для харчової промисловості [4].

Харчова промисловість спрямована на переробку сільськогосподарської сировини, тому значення харчової промисловості полягає в тому, що вона задовольняє нагальні потреби людини, закладає основи здоров'я населення і є базисом для всіх інших видів діяльності людини і суспільства. Головною метою харчової промисловості є максимізація задоволення потреб суспільства в продуктах харчування, які відповідають сучасним вимогам якості і безпеки продукції.

Формування цілей статті (постановка завдання). Аналіз та обґрунтування пошуку шляхів, можливостей і перспектив розвитку харчової промисловості та забезпечення продовольчої безпеки країни. Виробництво і реалізація продуктової інновації харчової промисловості на основі створення нових форм харчових продуктів, виходячи з розробок вітчизняних вчених.

Основна частина. У країнах, що розвиваються, темпи продовольчого виробництва зажадають дворазового збільшення. За прогнозами, до 2050 р. річне виробництво зернових культур має зрости майже на 1 млрд. тон, виробництва м'яса - від 200 млрд. тон до 470 млрд. тон, з яких 72 % виробництва припаде на країни, де розвивається економіка. Чистий світовий експорт рослинної олії збільшиться до 25 млн. тон на рік (в 3 рази), а цукру - до 20 млн. тон на рік. Середньорічна врожайність зернових культур по світу буде знижуватися до 0,7 % [5].

Зростання світового населення може спричинити продовольчу кризу. В зв'язку з цим можливе зростання виробництва продуктів харчування з низьким вмістом поживних речовин, продуктів на основі генетично модифікованих інгредієнтів, а також штучно виведених інгредієнтів, що негативно вплине на основні складові сталого розвитку, таких як, економічна, соціальна, екологічна.

В результаті вищесказаного, гостро постає питання про пошук шляхів, можливостей і перспектив розвитку харчової промисловості, забезпечення продовольчої безпеки країни.

Продовольча безпека - це стан захищеності громадян країни за допомогою стабільного забезпечення сировиною, достатньою кількістю безпечної і повноцінної продовольчої продукції з урахуванням одержуваних доходів, відносна незалежність від імпорту сировини і продовольства.

Продовольча безпека залежить від рівня доходів населення, підтримки і розвитку сільського господарства, вжитих заходів щодо зниження ризику неврожаю, наявності, підготовки і перепідготовки кадрів і фахівців у виробництві продуктів харчування і підтримки вітчизняних виробників, державного регулювання експортно-імпортних операцій в області продовольчого забезпечення, рівня конкурентоспроможності вітчизняних виробників продуктів харчування, наявності наукового, технологічної та виробничої інфраструктури, контролю за якістю та безпекою споживаної в країні продовольчої продукції, за цінами і т.д. [6].

На сьогоднішній день основними факторами, що стримують розвиток харчової промисловості, яка включає в себе весь ланцюжок: виробництво, зберігання, переробку і збут продовольчої продукції, є: роз'єднаність між виробниками і споживачами в процесі просування продукції в результаті чого з'являється безліч посередників в процесі просування продукції від виробника до споживача; територіальна роз'єднаність технологічно взаємопов'язаних галузей, що в свою чергу не дозволяє ефективно реалізовувати величезні можливості сировинної бази республіки; нерозвиненість інфраструктури виробництва продовольчої продукції; низька частка переробки сільгосппродукції, наслідком якого є низький рівень завантаженості виробничих потужностей підприємств харчової промисловості та випуск неконкурентоспроможною продукції в порівнянні з імпортної, моральний і фізичний знос технологічного обладнання переробних підприємств; дрібнотоварний характер виробництва [7].

Для розвитку харчової промисловості України є потенціал, який необхідно розвивати (рис. 1).



Рисунок 1. Конкурентні переваги харчової промисловості України

Харчова промисловість України зможе зайняти провідне місце в масштабах України і за її межами, в довгостроковій перспективі принципово важлива саме сукупність усіх потенційних точок її зростання, які істотно підвищують загальну конкурентоспроможність харчової промисловості України і дають їй високий шанс на активний розвиток.

У зв'язку з цим потрібна грамотна політика управління виробництвом і споживанням продовольчою продукцією на мікро, мезо- і макрорівнях, яка повинна ґрунтуватися на соціальній, економічній, екологічній політиці країни, забезпечуючи економічну ефективність, соціальне благополуччя і екологічну безпеку.

На наш погляд, досягти інтересів і споживачів і виробників продовольчих продуктів, знизити імпорт продуктів харчування,

розвинути харчову промисловість країни, дати новий імпульс розвитку сільського господарства і основних джерел сировини для виробництва продуктів харчування, забезпечити продовольчу безпеку країни можливо на основі інноваційного розвитку харчової галузі.

Інновація являє собою кінцевий результат інноваційної діяльності, що одержав втілення у вигляді нового або вдосконаленого продукту (товару, роботи, послуги), виробничого процесу, нового маркетингового або організаційного методу у веденні бізнесу, організації робочих місць або організації зовнішніх зв'язків.

У харчовій промисловості можуть бути отримані продуктові, технологічні (процесні), маркетингові, організаційні інновації [8].

Таблиця 1

Продуктові, технологічні, маркетингові, організаційні інновації у харчовій промисловості

Продуктові інновації харчової промисловості	• продукт, що володіє новизною, отриманий в результаті інноваційної діяльності, призначений для масового споживання, для окремих категорій осіб та груп населення з метою: розширення асортименту і номенклатури, лікування та профілактики, задоволення потреб населення в споживанні продуктів харчування, відмінних від традиційних.
Технологічні або процесні інновації	• покликані полегшити, покращити процес отримання інновації за рахунок застосування нових технологій, удосконалення технологічного процесу.
Маркетингові інновації	• спрямовані на дослідження ринків збуту, нові канали збуту, пошук нових споживачів, використання нових методів продажів, реклами інноваційної продукції, просування продовольчої продукції на ринки збуту, формування нових цінових стратегій.
Організаційні інновації	• новий метод ведення продовольчого бізнесу, організація нових зовнішніх зв'язків, організація робочих місць, новий стиль управління, прийняття нових креативних рішень [9].

В основі якісних зрушень у харчовій промисловості лежить створення нових інноваційних продовольчих товарів, повинні

використовуватися нові види сировини, нові технології. Потрібно забезпечити переробку сировини і виходити на світові ринки з високоякісною готовою продукцією.

За багатьма позиціями Україна може стати одним з найбільших в світі виробників продовольчої продукції, особливо це стосується виробництва екологічно чистих продуктів харчування. До організаційних інновацій можна віднести сільськогосподарську кооперацію.

Низькі закупівельні ціни на сільськогосподарську продукцію не стимулюють збільшення обсягів їх виробництва, що у підсумку веде до низької частини переробки сільськогосподарської сировини, недозавантаженості потужностей переробних підприємств і в кінцевому рахунку до високої частки імпорту продовольчих товарів.

Маркетингові інновації важливо розвивати, оскільки продукція дрібних і середніх вітчизняних виробників помітно програє за якістю і упаковкою, каналам збуту і продажів не в змозі успішно конкурувати із зарубіжними постачальниками. Позначається відсутність власної торгової мережі, створення та утримання якої не кожному підприємству доступні.

Необхідно розвивати технологічні інновації, важливо модернізувати і диверсифікувати виробництва в харчовій галузі, впроваджувати на підприємствах харчової галузі інноваційні процеси і технології виробництва імпортозамінної вітчизняної продукції, що відповідає сучасним вимогам якості та безпеки, важливо застосування інтенсивних технологій, вирішувати питання збуту готової продукції за рахунок розвитку конкурентоспроможності харчової промисловості. Важливо сформувати імідж українського продовольства як екологічно чистого, натурального і якісного.

Важливо впроваджувати біотехнології, на основі яких будуть створені високотехнологічні виробництва з більш ефективним виробленням цільового продукту зі скороченням втрат сировини, з виробництвом харчових продуктів з різними функціональними властивостями, що дозволить підвищити ступінь переробки сировини, розширити асортимент продукції, що випускається, вирішити екологічні проблеми.

Для цього важливо розвинути інфраструктуру і логістичне забезпечення продовольчого ринку, необхідна інтеграція підприємств у систему міжрегіональних і світових ринків харчових продуктів, необхідно забезпечити конкурентоспроможність продовольства на новому якісному рівні.

Необхідно сформувати сприятливі інституціональні умови розвитку галузі. Важливо наукове і кадрове забезпечення галузі. В даному випадку буде забезпечено розвиток галузі на основі наукоємних

підходів і інноваційних рішень, підготовка кваліфікованого промислово-виробничого персоналу.

З точки зору інноваційного процесу даної галузі, важлива кооперація підприємств з галузевими науково-дослідними інститутами, що дозволить впровадити в харчову промисловість конкурентоспроможні ідеї, в ході реалізації яких можливий вихід галузі на новий рівень розвитку.

Інноваційні напрямки у виробництві продуктів харчування передбачають створення умов і передумов отримання продуктів харчування високої якості, в необхідній кількості, в відповідно до встановлених норм споживання, отримання спеціалізованих продуктів для дитячого і дієтичного харчування, лікувальної дії, продуктів, які враховують національні особливості в харчуванні окремих груп населення.

Важливі інноваційні розробки сучасних біотехнічних процесів переробки сільськогосподарської сировини, що дозволяють інтенсифікувати виробництво, знизити їх енергоспоживання, розширити асортимент, підвищити споживчі властивості збалансованих легкозасвоюваних продуктів харчування і напоїв.

Особливу увагу необхідно приділити інноваціям, спрямованих на розробку наукових основ організації наскрізних аграрно-харчових технологій. Також важливі наукові дослідження фізичної та біологічної хімії, нанотехнології, мікробіології, ферментології.

Напрямком інноваційної діяльності має стати проектування і створення багатокомпонентних харчових продуктів, в основі цього процесу лягає принцип аналітичної комбінаторики.

Інноваційний процес передбачає залучення якісної сировини, ідеї, відмінною від традиційного виробництва, нові технології, нові методи організації і виробництва, нові упаковка і канали збуту, новий стиль управління, прийняття креативних, нетрадиційних рішень; об'єднання воєдино вихідної сировини, кадрів, наукової, технологічної, освітньої, виробничої, комерційної, збутової складових, в результаті діяльності яких можуть бути отримані і паралельно використані маркетингові, процесні, організаційні, управлінські інновації з досягненням основної мети - виробництво і реалізація продуктової інновації харчової промисловості [10].

Інноваційний процес створення нових форм харчових продуктів, виходячи з розробок вітчизняних вчених може йти в трьох напрямках:

- виключення зі складу продукту будь-якого небажаного компонента;

- збагачення продукту необхідним компонентом профілактичного або лікувальної дії (вітаміни, мікроелементи) [11];

- заміна складу, при якому замість одного вилученого компонента вводиться інший аналогічний, що володіє потрібними або корисними властивостями [12].

Важливо і необхідно створювати комбіновані продукти з підібраним сировинним складом, що включає в різних поєднаннях м'ясна, молочна і рослинна сировина [13].

Важливо, щоб дослідження велися не тільки з економічною доцільністю, наприклад, з метою збільшення виходу їх з вихідної сировини, але і з метою поліпшення якості одержуваних продуктів харчування. На жаль, вчені часто ведуть пошуки заміни при виробництві продуктів харчування тваринного білка на більш дешевий - рослинний і способи і технології їх спільного застосування.

Також важливо продумати питання кооперації та інтеграції в харчовій промисловості. Що передбачає управління інноваційним процесом в харчовій промисловості:

• проведення досліджень і розробок, що забезпечують глибоку переробку сировини і отримання інноваційної продовольчої продукції;

• розробка сучасних ресурсозберігаючих методів і технологій при виробництві продуктів харчування;

• розробка високоефективних технологій безпечних продуктів загального, спеціального і дитячого харчування з використанням сучасних методів проектування їжі за допомогою створення сучасних полікомпонентних харчових продуктів для різних груп населення;

• розробка технологій функціональних продуктів харчування з метаболічно адекватним складом, що сприяє підвищенню ефективності лікувань патологій;

• розробка наукових основ і виробничих способів екологізації харчової галузі з метою зниження техногенного впливу на навколишнє середовище за допомогою розробки науково обґрунтованих рекомендацій, методів і технічних рішень щодо екологізації промислових технологій, що підвищують рівень комплексності переробки вихідної сировини і захисту довкілля.

Першим перспективним напрямком є виробництво продуктів дієтичного харчування:

• виробництво лікувально-оздоровчих продуктів каш, чіпсів, галет, хліба з цільних злаків, тому що людство прагне до здорового способу життя, до споживання екологічно чистих продуктів, продуктів які не містять ГМО. На сьогоднішній день новим модним трендом стало правильне харчування. Це говорить про високу культуру, зростанні і появі можливостей у населення; збір і переробка дарів природи (грибів, ягід, лікарських рослин). Цей вид діяльності в даний час не здійснюється в масштабах, достатніх для організації промислової

переробки, але в перспективі, при формуванні спеціалізованих заготівельних центрів, можливі;

• консервованих продуктів з ягід і грибів (джеми, варення, компоти, маринади і т.д.);

• обробіток зернових культур і гречки, перспективи переробки яких пов'язані з випуском упакованих круп, виробництвом дієтичних хлібобулочних і макаронних виробів.

Другим перспективним напрямом є виробництво замороженої овочевої продукції, оскільки зараз вітчизняні теплиці виробляють обмежений набір овочів, а в літню пору можна робити, заморожувати, консервувати і поставляти на ринок овочеві мікси. В Україні, проаналізувавши, можна зробити висновок, що на ринку немає вітчизняної замороженої овочевої продукції, на ринку присутні імпортні дорогі овочеві мікси. Однак виробництво овочів і подальше зростання їх споживання передбачає будівництво тепличних комплексів для вирощування овочів і розвиток систем зберігання для овочів і коренеплодів, яких на даний момент не в достатній кількості.

Третій напрям - виробництво продукції з середньою і високою доданою вартістю в переробці зерна: зокрема біоетанол, клейковину, крохмаль, кормові дріжджі. Цей напрямок також вимагає підтримку держави і вкладення інвестицій.

Четвертий напрямок - виробництво льняної, сафлорової і ріпакової олії. В Україні виробництво олійних, є пріоритетним напрямком в рамках диверсифікації сільського господарства. Безперечний лідер за обсягами виробництва серед олійних в Україні - соняшник.

Висновки. Таким чином, реалізація вищезгаданих заходів дозволить створити в Україні потужну харчову індустрію для забезпечення нормальної життєдіяльності населення, відновлення і збереження її здоров'я, удосконалення сільськогосподарського виробництва, соціальної переорієнтації базових областей промисловості країни, наповнення фінансами державного бюджету.

Інновації і грамотне управління інноваційним процесом дозволить модернізувати і диверсифікувати виробництва в харчовій промисловості, підвищити конкурентоспроможність харчових продуктів і розширити ринок їх збуту, сформувати сприятливі інституціональні умови розвитку галузі, скоординувати підготовку наукових кадрів і фахівців у цій галузі, здійснити їх підготовку і перепідготовку, розробити і застосовувати інтенсивні технології з виробництва продовольчих продуктів, забезпечити інтеграцію і кооперацію галузей і виробництв.

Список використаних джерел

1. Забезпечення інноваційного розвитку промисловості України: монографія / КПІ ім. Ігоря Сікорського; за ред. В. В. Дергачової. Київ: Політехніка, 2018. 234 с.

2. Systematic literature review of eco-innovation models: Opportunities and recommendations for future research / A. F. Xavier et al. *Journal of Cleaner Production.* 2017. Vol. 149, P. 1278-1302. DOI: 10.1016/j.jclepro.2017.02.145.

3. Горященко Ю. Г., Байов Б. С. Ринок інновацій в Україні та характеристика інноваційних стратегій. *Економічний вісник Національного гірничого університету.* 2017. № 1 (57). С. 132-139.

4. Kuzhel V. The theoretical basis of investment support of the development of the enterprises of agro-food sphere. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Сер. Економічні науки.* 2014. № 1 (72). С. 144-149.

5. Oslo Manual. Guidelines for Collecting and Interpreting Innovation Data. 3rd Edition. 162 p. DOI: 10.1787/9789264013100-en.

6. Круглякова В. В., Юринець З. В. Інноваційний потенціал суб'єктів господарювання харчової промисловості України: монографія. Львів: ГАЛИЧ-ПРЕС, 2019. 132 с.

7. Дерій Ж. В., Завгородня Н. В. Стратегічний напрям інноваційного розвитку харчової промисловості. Ukraine — EU. *Modern technology, business and law: collection of international scientific papers.* Part 1. Modern priorities of economics. Engineering and Tehnologies. Chernihiv: CNUT, 2016. P. 117-122.

8. Cherkasova T. I., Boyko I. M., Beznos S. V. The innovative activity of industrial enterprises as a factor of increasing their competitiveness. *Економіка: реалії часу.* 2013. № 4 (9). С. 149-154.

9. Мамочка А. Ю. Інноваційний розвиток харчової промисловості в Україні. *Вісник Сумського національного аграрного університету.* 2018. № 1. С. 216-220.

10. Мініна О. В., Шадура-Никипорець Н. Т. Інноваційний аспект діяльності підприємств харчової промисловості України: аналітична оцінка. *Економіка та суспільство.* 2017. № 7. URL: http://economyandsociety.in.ua (дата звернення 25.10.2021).

11. Vovk S., Kryzhak L. Substantiation of the parameters of dairy raw materials for the technology of yogyrt drink production. *Biotechnologia problemy i wyzwania.* Szczecin. 2018. P. 83-84.

12. Купчак П. М. Харчова промисловість України в умовах активізації інтеграційних та глобалізаційних процесів: монографія / за ред. Л. В. Дейнеко. Київ, 2019. 120 с.

13. Stakh V., Kryzhak L., Petliuk L. Biotechnological aspects of the conditions of cultivation of bifidobacteria in minced meat in the production

of smoked sausages. *Ogolnopolska Konferencja Naukowa. Srodowiskowe i genetyczne uwarunkowania zdrowia ludzi i zwierza.t Szczecin.* 2020. P. 92-95.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2021 р.

L. Kryzhak
Vinnytsia Institute of Trade and Economics
of Kyiv National University of Trade and Economics

ROLE OF THE INNOVATION AND INNOVATIVE PROCESS IN THE DEVELOPMENT OF THE FOOD INDUSTRY OF UKRAINE

Summary

For many years in economic practice, there has been an idea that in order to survive in conditions of free competition, it is necessary to effectively organize production, to establish sales of products based on the introduction of innovative technologies into production.

It should be noted that in conditions of rapid growth of competition, an aggressive external environment, with constant and dynamic business development, modern approaches to the essence and specifics of innovation and innovation will have to be radically revised. Innovation is a strategic resource, without which it becomes impossible to effectively manage individual business processes at industrial enterprises.

To solve the main tasks at all levels of farming, it is important to provide an innovative process in the food industry. The need to pay attention to all stages of the innovation process is due to the fact that food products are most often compressed and short shelf life, the particular conditions of their storage and delivery, the need for the correct ratio of the proportions of certain useful substances. In this regard, the necessary research and development, since consumers are interested in: storage conditions, shelf life, quality, composition, the presence of nutrients and useful substances in products, and so on.

Key words: food industry, innovation, innovative development, management of innovative processes.

Л. Крыжак
Винницкий торгово-экономический институт КНТЭУ

РОЛЬ ИННОВАЦИЙ И ИННОВАЦИОННОГО ПРОЦЕССА В РАЗВИТИИ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ УКРАИНЫ

Аннотация

Для решения главных заданий на всех уровнях ведения хозяйства, важно обеспечить инновационный процесс в пищевой промышленности. Необходимость уделить внимание всем этапам инновационного процесса связана с тем, что продукты питания имеют чаще всего сжатыми и короткими сроками хранения, особенностями условий их хранения и доставки, необходимостью правильного соотношения пропорций тех или других полезных веществ. В связи с этим нужны исследования и разработки, поскольку потребителей интересуют: условия хранения, сроки пригодности, качество, состав, наличие питательных и полезных веществ в продуктах и так далее.

Ключевые слова: пищевая промышленность, инновации, инновационное развитие, управление инновационными процессами.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-28

УДК 664.6

А. В. Антоненко [1], к.т.н., доцент ORCID: 0000-0001-9397-1209
Г. А. Толок [2], к.т.н., доцент ORCID: 0000-0002-2971-1645
Т. В. Бровенко [1], к.т.н., доцент ORCID: 0000-0003-1552-2103
Ю. В. Земліна[1], к.п.н., доцент ORCID: 0000-0003-0194-9472
О. В. Василенко[1], к.п.н., доцент ORCID: 0000-0003-4097-7476
Н. М. Стукальська [3], к.т.н., доцент ORCID: 0000-0001-6590-7170
[1]*Київський національний університет культури і мистецтв*
[2]*Національний університет біоресурсів і природокористування України*
[3]*Національний університет харчових технологій*
e-mail: artem.v.antonenko@gmail.com, тел: 063-263-33-03

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ З АПЕЛЬСИНОВИМ ПЕКТИНОМ

Анотація. У статті розроблено технологію борошняних кондитерських виробів з апельсиновим пектином. Як свідчать результати дослідження, заміна желатину у технології пісочних кондитерських виробів на апельсиновий пектин незначно впливає на сенсорні показники виробів, середня оцінка яких по відношенню до традиційного виробу різниться у межах 0,19 балів. Встановлено, що використання апельсинового пектину в кількості 50% від маси желатину найбільш наближена до контролю та може використовуватись при виготовленні пісочного тістечка «Сфера». При дослідженні хімічного складу тістечка пісочного «Сфера» у досліджуваному зразку збільшується кількість харчових волокон на 21 %, які нормалізують роботу шлунково-кишкового тракту. Вбираючи воду, вони здатні значно збільшуватися в розмірах, що подразнює кишечник і допомагає швидкому його спорожненню. Розбухаючи в шлунку і заповнюючи його, харчові волокна дають відчуття насичення, що запобігає переїдання. Вони допомагають зниженню цукру в крові, стабілізуючи його рівень, оскільки значно знижують швидкість всмоктування глюкози. За результатами проведених досліджень розроблено технологію тістечка пісочного «Сфера» з підвищеним вмістом ессенціальних нутрієнтів. Соціальна ефективність розробленої технології тістечка полягає у розширенні асортименту борошняних

© А. В. Антоненко, Г. А. Толок, Т. В. Бровенко, Ю. В. Земліна, О. В. Василенко, Н. М. Стукальська

кондитерських виробів з підвищеним вмістом харчових волокон. Розроблена кондитерська продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення, а також для задоволення попиту споживачів на функціональні харчові продукти.

Ключові слова: технологія, апельсиновий пектин, борошняний кондитерський виріб, харчові волокна, харчова цінність.

Постановка проблеми. В даний час, різноманітні несприятливі впливи навколишнього середовища, неповноцінне харчування, гіподинамія, надмірні емоційні навантаження призводять до різкого зниження імунітету, порушення обміну речовин в організмі і є загальними факторами ризику виникнення численних захворювань. Розробка та впровадження рецептур і технологій страв, кулінарних та кондитерських виробів підвищеної харчової цінності є однією із найпріорітетніших завдань сучасної політики держави, яка спрямована на формування системи здорового харчування населення [1-4].

Важлива роль у вирішенні цього питання надається розробленню нових рецептур і технологій борошняних кондитерських виробів, які користуються великим попитом серед населення, що дає можливість моделювати рецептуру і асортимент. Кожна модифікація пов’язана із зміною рецептурних компонентів і введення в їх склад нетрадиційної для борошняних кондитерських виробів сировини, що сприяє зміні її харчової цінності та впливає на якість і безпечність готових виробів. Це обумовлено необхідністю наукового обґрунтування та експериментального підтвердження можливості використання нових видів харчової сировини [5-9]. В якості альтернативної сировини для виготовлення борошняних кондитерських виробів є відходи переробки апельсину – апельсиновий пектин.

Аналіз останніх досліджень. Аналіз науково-технічної літератури показує, що провідними виробниками борошняних кондитерських виробів України вдало переймається досвід закордонних країн. На вітчизняному рівні науковими розробками в виробництві борошняних кондитерських виробів активно займаються провідні ВУЗи та їх науковці. Активно впроваджуються композитні суміші зернової та овочевої сировини такими науковцями, як О. В. Макарова, О. В. Василевич та ін.. У вирішенні окремих проблем щодо забезпечення виробників борошном цільового призначення та поліпшення функціональних властивостей борошняних кондитерських виробів значний внесок зробили вчені А. М. Дорохович, Д. О. Жигунов, К. Г. Іоргачова, М. М. Калакура, М. Ф. Кравченко, В. К. Кочетов,

О. П. Мелешкіна, В. І. Оболкіна, О. І. Рибалка, О. В. Самохвалова, І. В. Сирохнам, J. A. Gray, S. Purna та ін. [10-17].

Формулювання мети статті. Метою роботи є обгрунтування та розроблення новітніх технологій борошняних кондитерських виробів з підвищеним вмістом біологічно-активних речовин.

Об'єкт дослідження – технологія борошняних кондитерських виробів з підвищеним вмістом біологічно-активних речовин.

Предмет дослідження – апельсиновий пектин, пісочні кондитерські вироби, пісочні кондитерські вироби з апельсиновим пектином.

Основна частина. Апельсиновий пектин – це очищений полісахарид, який отримують шляхом екстрагування цитрусового макуха. У харчовій промисловості він слугує гелеутворювачем, загущувачем, стабілізатором та освітлювачем [7].

Апельсиновий пектин очищує організм від токсинів, радіонуклідів, алергенів, продуктів розпаду та сприяє зміцненню імунної системи.

Апельсиновий пектин сприятливо впливає на організм людини, а саме:

- обволікує слизову шлунка і кишечника, захищаючи від ушкоджень і шкідливих бактерій;
- підсилює перистальтику кишечника і допомагає впоратися з запорами;
- збільшує всмоктування в організмі кальцію і магнію – головних годувальників наших кісток і нервів;
- виводить з шлунково-кишкового тракту агресивні речовини, токсини і солі важких металів;
- допомагає відновити корисну мікрофлору при дисбактеріозі;
- пов'язує шкідливий холестерин і виводять його з організму, не даючи утворитися атеросклеротичним бляшкам;
- прискорює регенерацію тканин після операцій, опіків, перитонітів.

Апельсиновий пектин має світло-коричнуватий колір у вигляді порошку, ступінь етерифікації якого 55 %, здатний утворювати гелі. Хімічний склад апельсинового пектину наведено у табл. 1, що свідчить про високий вміст харчових волокон, мінеральних речовин та відсутністю жирів [8].

За результатами табл. 1, можемо зробити висновок, що апельсиновий пектин має високий вміст біологічно-активних речовин, а особливо харчових волокон та підтверджує доцільність його використання при виготовленні борошняних кондитерських виробі.

Для визначення раціональної концентрації добавки розроблені модельно-харчові композиції пісочного тістечка «Сфера» із

додаванням апельсинового пектину замість желатину у кількості 25 %, 50 %, 75 % (таблиця 2) [18, 20].

Таблиця 1

Хімічний склад апельсинового пектину, % на 100 г сухої речовини

Найменування показника	Апельсиновий пектин
Білки, г	3,5
Жири, г	–
Вуглеводи, г	84,8
у т.ч. харчові волокна, г	75,5
Вологість, г	10
Зола, г	1,5
РР, мг	0,5
Мінеральні речовини, мг	
Натрій	426
Калій	108
Кальцій	40
Магній	14
Фосфор	25
Залізо	1,9
Енергетична цінність	353,2

Таблиця 2

Модельно-харчові композиції тістечка пісочного «Сфера із апельсиновим пектином»

Найменування сировини	Контроль	Дослід 1 25 : 75	Дослід 2 50 : 50	Дослід 3 75 : 25
Борошно пшеничне вищого сорту	49,3	49,3	49,3	49,3
Цукор білий	31,7	31,7	31,7	31,7
Масло вершкове	32,8	32,8	32,8	32,8
Меланж	6,5	6,5	6,5	6,5
Сіль куонна	0,1	0 ,1	0,1	0,1
Натрій двовуглекислий	0,02	0,02	0,02	0,02
Амоній вуглекислий	0,02	0,02	0,02	0,02
Джем яблучний	12,9	12,9	12,9	12,9
Апельсиновий пектин	–	1,0	2,0	3,0
Желатин	4,0	3,0	2,0	1,0
Вихід тістечка пісочного	100	100	100	100

Якість пісочних кондитерських виробів характеризується сукупністю сенсорних показників та харчової цінності. Для сенсорної

оцінки пісочного тістечка «Сфера» та пісочного тістечка «Сфера з апельсиновим пектином» розроблено методику оцінювання [15] за 5-баловою шкалою:

0 балів – ознака відсутня;
1 бал – ледь відчутна;
2 бали – слабка інтенсивність;
3 бали – помірна інтенсивність;
4 бали – сильна інтенсивність;
5 балів – дуже сильна інтенсивність.

У ході досліджень враховувались показники зовнішнього вигляду, кольору, запаху, смаку та вигляду на зломі, кожен з яких мав відповідний коефіцієнт вагомості (табл. 3).

Дегустацію проведено комісією в складі 10 фахівців – технологи, бренд-кухарі закладів ресторанного господарства, викладачі кафедри технології і організації ресторанного господарства.

Таблиця 3

Сенсорна оцінка пісочного тістечка «Сфера» із додаванням апельсинового пектину

Модельна композиція	Смак	Запах	Колір	Вигляд на зломі	Зовнішній вигляд	Загальна сенсорна оцінка, балів
	Коефіцієнт вагомості					
	3	2	2	1	2	
Контроль	5,0	5,0	5,0	4,9	5,0	4,98
Дослід 1	4,9	4,8	4,8	4,9	4,9	4,86
Дослід 2	4,8	4,8	4,8	5,0	4,7	4,82
Дослід 3	4,8	4,8	4,7	4,9	4,6	4,76

Як свідчать результати дослідження заміна желатину у технології пісочних кондитерських виробів на апельсиновий пектин незначно впливає на сенсорні показники виробів, середня оцінка яких по відношенню до традиційного виробу різниться у межах 0,19 балів. Встановлено, що використання апельсинового пектину в кількості 50% від маси желатину найбільш наближена до контролю та може використовуватись при виготовленні пісочного тістечка «Сфера».

Технологія виготовлення тістечка пісочного «Сфера з апельсиновим пектином» складається з шести етапів:

І етап. Підготовка сировини до виробництва. Борошно пшеничне вищого сорту, цукор білий, сіль, натрій двовуглекислий і амоній вуглекислий просіюють (d = 1,4 × 10-3 м). Масло вершкове зачищають, розрізають на шматочки. Желатин та апельсиновий пектин замочують і підігрівають до температури 40–50 °С і проціджують. Джем яблучний протирають скрізь сито.

ІІ етап. Приготування пісочного напівфабрикату.

ІІІ етап. Формування напівфабрикату. Готове тісто розкачують на підпиленому борошном столі у пласт товщиною (h = 5 × 10-3 м) і формують округлою металевою виїмкою.

IV етап. Випікання. Тісто випікали (τ = 7,0 × 102 с) за температури 180 – 200 ºС. Охолодження до температури 18–20 ºС.

V етап. Приготування начинки. Джем яблучний перемішують з желатином та апельсиновим пектином.

VI етап. Формування тістечка. Випечений пісочний напівфабрикат формуємо у вигляді напівсфер.

У процесі технологічних розробок з урахуванням сенсорної оцінки, розроблено технологію тістечка пісочного «Сфера із апельсиновим пектином» (рис.1).

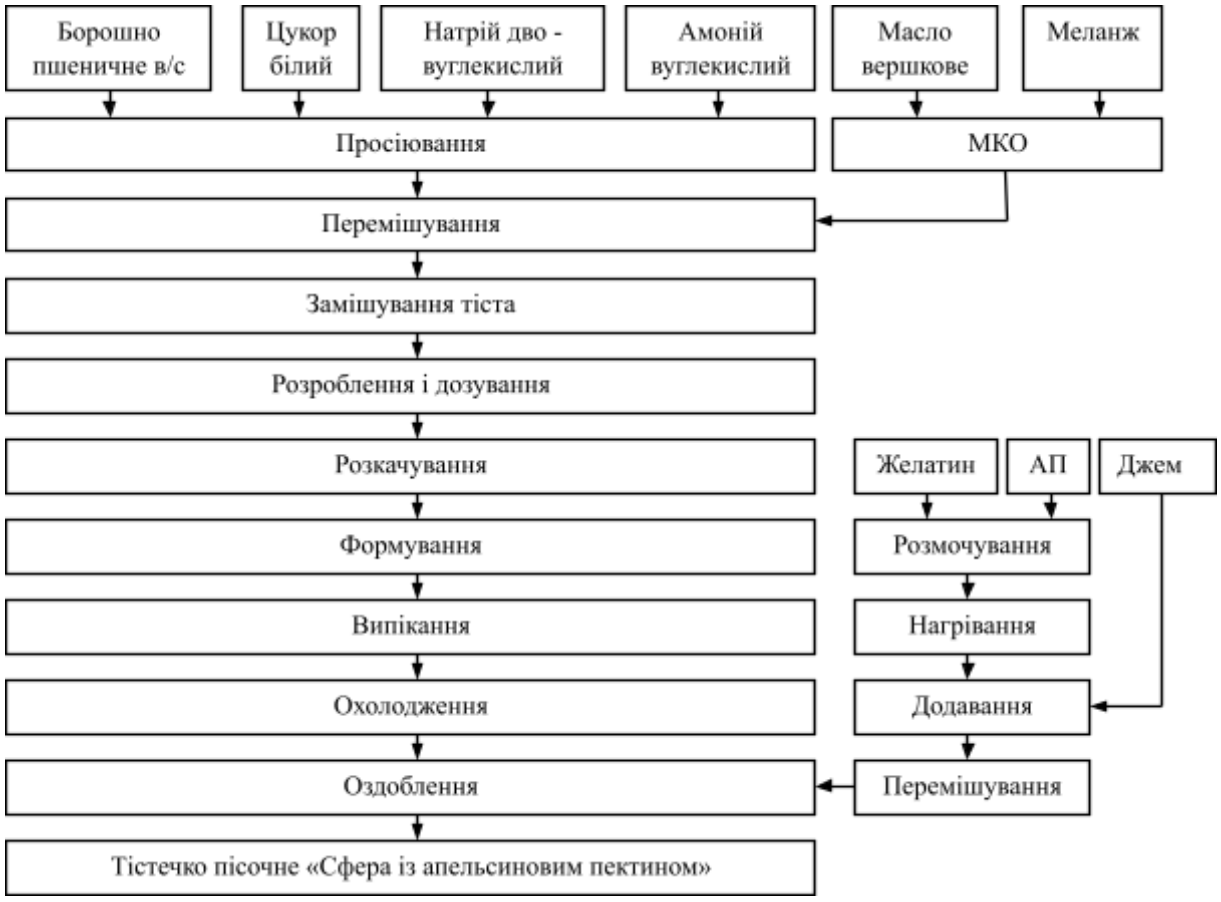


Рисунок 1. Технологічна схема приготування тістечка пісочного «Сфера із апельсиновим пектином»

Визначення вмісту основних харчових нутрієнтів тістечка пісочного «Сфера» та тістечка пісочного «Сфера із апельсиновим пектином» (табл. 4) [19].

Таблиця 4

Порівняльна характеристика хімічного складу контрольного та дослідного зразків пісочного печива «Сфера»

Найменування показника	Контрольний зразок	Дослідний зразок	Різниця, +/-
Білки, г	7,5	8,0	0,5
Жири, г	22,5	22,5	–
Вуглеводи, г	65,0	66,7	1,7
Харчові волокна, г	0,4	1,9	1,5
Вологість, %	5,5	5,5	–
Зола, мг	228	235	7
Мінеральні речовини, мг			
Калій	90	95	5
Кальцій	20	21	1
Магній	13	14	1
Фосфор	69	69	–
Ферум	0,4	0,5	0,1
Вітаміни, мг			
Ретинол (А) (ß-каротину)	0,15	0,15	–
Тіамін (B_1)	0,08	0,08	–
Рибофлавін (B_2)	0,08	0,08	–
Нікотинова кислота (РР), мг	–	0,008	0,008
Енергетична цінність, ккал	492,5	501,3	8,8

При дослідженні хімічного складу тістечка пісочного «Сфера» у досліджуваному зразку збільшується кількість харчових волокон на 21 %, які нормалізують роботу шлунково-кишкового тракту. Вбираючи воду, вони здатні значно збільшуватися в розмірах, що подразнює кишечник і допомагає швидкому його спорожненню. Розбухаючи в шлунку і заповнюючи його, харчові волокна дають відчуття насичення, що запобігає переїдання. Вони допомагають зниженню цукру в крові, стабілізуючи його рівень, оскільки значно знижують швидкість всмоктування глюкози.

При дослідженні хімічного складу тістечка пісочного «Сфера з апельсиновим пектином» спостерігається збільшення мінеральних речовин, а особливо кальцію і калію. В організмі людини кальцій відіграє вирішальну роль у здійсненні багатьох фізіологічних і біохімічних процесів. Він необхідний для нормальної збудливості нервової системи і скорочення м'язів, є активатором ряду ферментів і гормонів та найважливішим компонентом системи згортання крові. Кальцій має значення для зміцнення каркасної функції склери ока.

Калій відіграє велику роль в утворенні буферних систем, що запобігають зрушення реакції середовища і забезпечують їх сталість. Калій відноситься до основних внутрішньоклітинних катіонів, будучи необхідним компонентом внутрішньоклітинного середовища всіх живих організмів. В організмі людини близько 98% калію знаходиться всередині клітин тканин. Сполуки калію впливають на колоїдний стан тканин, сприяє виведенню рідини з організму. Калій також може допомогти підтримувати нормальний баланс кальцію в організмі і зменшує його втрату.

Оскільки якість розробленого пісочного напівфабрикату характеризується підвищеним вмістом біологічно активних речовин, визначемо комплексний показник якості.

На підставі проведених досліджень розраховано комплексний показник якості (табл. 5) та побудовано модель якості контрольного та дослідного зразків (рис. 2).

Таблиця 5

Комплексний показник якості контрольного та дослідного зразків пісочного тістечка «Сфера»

Показник	Вагомість показника	Контроль	Дослід
Харчові волокна, г	0,3	0,4	1,9
Білки, г	0,2	7,5	8,0
Калій, мг	0,1	90	95
Магній, мг	0,1	13	14
Органолептична оцінка, бали	0,3	4,98	4,82
Разом	**1,0**		

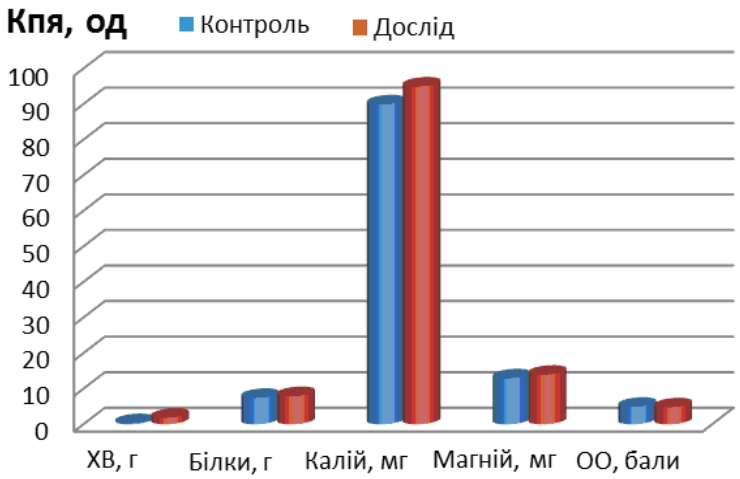


Рисунок 2. Модель якості контрольного та дослідного зразків тістечка пісочного «Сфера»

Висновки. За результатами проведених досліджень розроблено технологію тістечка пісочного «Сфера» з підвищеним вмістом ессенціальних нутрієнтів. Соціальна ефективність розробленої технології тістечка полягає у розширенні асортименту борошняних кондитерських виробів з підвищеним вмістом харчових волокон. Розроблена кондитерська продукція може бути рекомендована для харчування у повсякденних раціонах людей, що працюють на виробництвах важкої промисловості, проживають на екологічно забруднених територіях та всіх верств населення, а також для задоволення попиту споживачів на функціональні харчові продукти.

Список використаних джерел

1. Технологія харчових продуктів функціонального призначення: монографія / А. А. Мазаракі та ін. Київ: КНТЕУ, 2012. 1116 с.

2. Dodson, A. G., Pepper, T. Confectionery technology and the pros and cons of using non-sucrose sweeteners. *Food chemistry*. 1985. Vol. 16, № 3-4. P. 271-280. DOI: 10.1016/0308-8146(85)90121-9.

3. Wissenschaft für den modernen Menschen: wirtschafts, management, marketing, tourismus, rechts und politikwissenschaften. Monografische Reihe «Europäische Wissenschaft». Buch 4, Teil 6 = Science for modern man: economics, management, marketing, tourism, legal and political sciences. Monographic series «European Science». Book 4. Part 6. 2. 2021. DOI: 10.30890/2709-2313.2021-04-06.

4. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія / О. І. Черевко та ін. Харків: ХДУХТ, 2017. Ч. 2. 591 с.

5. Financial-economic and innovative support of entrepreneurship development in the spheres of economy, tourism and hotel-restaurant business: collective monograph / V. M. Yatsenko et al. Agenda Publishing House, Coventry, United Kingdom. 2017. 619 p.

6. Теоретико-практичні підходи до ефективного функціонування ринку готельно-ресторанних послуг: стан, проблеми, тенденції: колективна монографія / за ред В. А. Русавської. Київ: Ліра. 2018. 420 с.

7. Indrani D., Soumya C., Rajiv J., Venkateswara Rao G. Multigrain bread–its dough rheology, microstructure, quality and nutritional characteristics. *Journal of texture studies*. 2010. Vol. 41, № 3. P. 302-319. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2010.00230.x.

8. Chetana, Sudha M. S., Begum M. L., Ramasarma K. Nutritional characteristics of linseed/flaxseed (Linum usitatissimum) and its application in muffin making. *Journal of Texture Studies*. 2010. Vol. 41, № 4. P. 563-578. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2010.00242.x.

9. Brovenko T., Antonenko A. Food design as the actual direction of the interdisciplinary researches. *Вісник Національної академії керівних кадрів культури і мистецтв*. 2018. № 2. С. 88-91.

10. Технологія борошняних страв на основі нетрадиційної сировини / А. В. Антоненко та ін. *Вчені записки ТНУ ім. В.І. Вернадського. Сер. Технічні науки.* 2019. Т. 30 (69), № 4. С. 77-82. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.4-2/13.

11. Криворучко М. Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Товари і ринки*. 2012. № 1. С. 82-88.

12. Михайлик В. С. Технологія та якість печива зі шротами олійних культур. *Харчова наука і технологія*. 2016. Vol. 10, № 1. С. 72-77.

13. Кравченко М. Ф., Криворучко М. Ю. Структурно-механічні властивості прісного тіста з борошна пророщеного зерна пшениці. *Товари і ринки*. 2012. № 1. С. 82-88.

14. Антоненко А. В. Борошно з пророщеного зерна вівса як основа для борошняних кондитерських виробів. *Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій*. 2014. № 46 (1). С. 149-153.

15. Jyotsna R., Sai Manohar R., Indrani D., Venkateswara Rao G. Effect of whey protein concentrate on the rheological and baking properties of eggless cake. *International Journal of Food Properties*. 2007. Vol. 10, № 3. P. 599-606. DOI: 10.1080/10942910601048986.

16. Sudha M. L., Rajeswari G., Venkateswara Rao G. Effect of wheat and oat brans on the dough rheological and quality characteristics of instant vermicelli. *Journal of Texture Studies*. 2012. Vol. 43, № 3. P. 195-202. DOI: 10.1111/j.1745-4603.2011.00329.x.

17. Кравченко М. Ф. Наукове обгрунтування і розроблення фруктових систем як основи для солодких соусів. *Товари і ринки*. 2009. № 2. С. 76–82.

18. Збірник рецептур кулінарної продукції і напоїв функціонального призначення / А. А. Мазаракі та ін.; за ред. М. І. Пересічного. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: КНТЕУ, 2013. 772 с.

19. Химический состав российских пищевых продуктов: справочник / под. ред. И. М. Скурихина, В. А. Тутельяна. Москва: ДеЛи принт, 2002. 236 с.

20. Scientific foundations of the integrated use of sweeteners and iovdine-containing raw materials in confectionery technology / O. Sokolovska et al. *Journal of Hygienic Engineering and Design*. 2020. Vol. 32. P. 11-16.

Стаття надійшла до редакції 15.10.2021 р.

A. Antonenko[1], H. Tolok[2], T. Brovenko[1], Y. Zemlina[1], O. Vasilenko[1], N. Stukalska[3]
[1]Kyiv National University of Culture and Arts
[2]National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
[3]National University of Food Technology

INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF FLOUR CONFECTIONERY WITH ORANGE PECTIN

The article develops the technology of flour confectionery with orange pectin. To determine the rational concentration of the additive, model food compositions of shortbread cake "Sphere" with the addition of orange pectin instead of gelatin in the amount of 25%, 50%, 75% were developed. It was found that the use of orange pectin in the amount of 50% by weight of gelatin is closest to the control and can be used in the manufacture of shortbread "Sphere". When studying the chemical composition of shortbread cake "Sphere" in the sample increases the amount of dietary fiber by 21%, which normalizes the gastrointestinal tract. Absorbing water, they can significantly increase in size, which irritates the intestines and helps to empty them quickly. Swelling in the stomach and filling it, dietary fiber gives a feeling of satiety, which prevents overeating. They help lower blood sugar by stabilizing its level, as they significantly reduce the rate of glucose absorption. The quality of shortbread confectionery is characterized by a combination of sensory indicators and nutritional value. For the sensory evaluation of the shortbread cake "Sphere" and the shortbread cake "Sphere with orange pectin" a method of evaluation on a 5-point scale was developed. According to the results of the research, the technology of shortbread cake "Sphere" with high content of essential nutrients was developed. The social efficiency of the developed cake technology is to expand the range of flour confectionery products with high content of dietary fiber. The developed confectionery can be recommended for food in the daily diets of people working in heavy industry, living in environmentally contaminated areas and all segments of the population, as well as to meet consumer demand for functional foods.

***Key words*:** technology, orange pectin, flour confectionery, dietary fiber, nutritional value.

А. В. Антоненко [1], Г. А. Толок [2], Т. В. Бровенко [1], Ю. В. Землина [1], Е. В. Василенко [1], Н. Н. Стукальская [3]
[1]Киевский национальный университет культуры и искусств
[2]Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины
[3]Национальный университет пищевых технологий

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МУЧНЫХ КОНДИТЕРСКИХ ИЗДЕЛИЙ С АПЕЛЬСИНОВЫМ ПЕКТИНОМ

Аннотация

В статье разработана технология мучных кондитерских изделий с апельсиновым пектином. Как свидетельствуют результаты исследования, замена желатина в технологии песочных кондитерских изделий на апельсиновый пектин незначительно влияет на сенсорные показатели изделий, средняя оценка которых по отношению к традиционному изделия отличается в пределах 0,19 баллов. Установлено, что использование апельсинового пектина в количестве 50% от массы желатина наиболее приближена к контролю и может использоваться при изготовлении песочного пирожного «Сфера». При исследовании химического состава песочного пирожного «Сфера» в исследуемом образце увеличивается количество пищевых волокон на 21%, нормализующие работу желудочно-кишечного тракта. Впитывая воду, они способны значительно увеличиваться в размерах, раздражает кишечник и помогает быстрому его опорожнению. Разбухая в желудке и заполняя его, пищевые волокна дают чувство насыщения, что препятствует перееданию. Они помогают снижению сахара в крови, стабилизируя его уровень, поскольку значительно снижают скорость всасывания глюкозы. По результатам проведенных исследований разработана технология песочных пирожных «Сфера» с повышенным содержанием эссенциальных нутриентов. Социальная эффективность разработанной технологии пирожных заключается в расширении ассортимента мучных кондитерских изделий с повышенным содержанием пищевых волокон. Разработанная кондитерская продукция может быть рекомендована для питания в повседневных рационах людей, работающих на производствах тяжелой промышленности, проживающих на экологически загрязненных территориях и всех слоев населения, а также для удовлетворения спроса потребителей на функциональные пищевые продукты.

Ключевые слова: технология, апельсиновый пектин, мучное кондитерское изделие, пищевые волокна, пищевая ценность.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-29

УДК 641.1

О. В. Пахомська, асист. ORCID: 0000-0002-0915-8811
Вінницький торговельно-економічний інститут КНТЕУ
e-mail**:** olana1980@ukr.net, тел.098-78-78-853.

ХАРЧОВІ ПРОДУКТИ - ПРОБЛЕМИ ЯКОСТІ ТА БЕЗПЕЧНОСТІ

Анотація. У статті розглядаються питання регулювання безпеки харчових продуктів Україні. Виявлено ключові завдання управління якістю харчових продуктів та запропоновано шляхи удосконалення напрямків виробництва продуктів харчування.

Перспективним напрямом забезпечення безпеки продуктів харчування має стати механізм гарантування дотримання національних стандартів через зміни законодавства у напрямі запровадження дієвих штрафних санкцій за порушення стандартів, створення нового державного інституту, який би контролював дотримання стандартів на продукти харчування.

Створення передумов наявності безпечних продуктів на ринку передбачає використання якісної сировини, систематизацію способів обробки, забезпечення сучасної технології виробництва та впровадження перспективних методів зберігання продуктів харчування. Наведено основні передумови створення систем управління якістю і безпечністю харчової продукції. Основним збірником узгоджених на міжнародному рівні стандартів на харчові продукти, скерованих на захист здоров'я споживачів, є Codex Alimentarius.

Ключові слова: безпека, харчові продукти, НАССР, Закон України, якість, державний контроль.

Постановка проблеми. Здоров'я людини переважно визначається впливом факторів навколишнього середовища, у тому числі якістю харчових продуктів. Недбайливе, корисливе ставлення людини до біосфери призвело до того, що рослинний і тваринний світ став також небезпечним для людини. У процесі переробки рослинної і тваринної сировини виникає все більше екологічних проблем, розв'язання яких зумовлено безпекою харчування. Безпека харчових продуктів – відсутність загрози шкідливого впливу харчових продуктів, продовольчої сировини та супутних матеріалів на організм людини.

© О. В. Пахомська

Забезпечення безпеки продуктів харчування з кожним роком стає все більш актуальним і невідкладним завданням вчених, виробників харчової продукції, санітарно-епідеміологічних станцій, інших державних органів. Безпека продуктів харчування – це відсутність шкідливого впливу на здоров’я людини при їх вживанні, а саме токсичної, канцерогенної, мутагенної і тератогенної дії всіх складників [1].

Інтенсивний розвиток промисловості, широка урбанізація, хімізація сільського господарства призводить до надходження у продовольчу сировину та харчові продукти чужорідних речовин, які негативно впливають на здоров'я населення. Крім того, певну небезпеку може становити використання харчових добавок у нових технологіях виготовлення харчових продуктів. В зв'язку з цим безпека та якість харчової продукції є одними з основних факторів, які визначають здоров'я населення України [2].

Аналіз останніх досліджень. Аспекти продовольчої безпеки розглядаються в працях І. І. Лукінова, П. П. Борщевського, П. Т. Саблука, Г. О. Колесніка, Л. В. Дейнеко, О. І. Гойчука, С. М. Кваші, Т. Л. Мостенської, М. Й. Хорунжого, М. А. Хвесика, Р. Л. Тринько та закордонних вчених: M. G. Scott, J. B. Ward, C. E. Dallas, J. C. Theiss. Проте, незважаючи на значні напрацювання з даної теми, окремі її аспекти потребують подальшого вивчення та обумовлюють доцільність проведення наукових пошуків для подальшого розроблення.

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є дослідження та аналіз стану безпеки харчових продуктів в Україні.

*Основна частина***.** Безпека харчових продуктів - це поняття, що включає в себе обробку, підготовку та зберігання харчових продуктів таким чином, щоб запобігти хворобам харчового походження. Мається на увазі, що виробники та реалізатори продуктів харчування повинні дотримуватись низки процедур, щоб уникнути потенційно серйозних небезпек для здоров'я. Як відзначає ВООЗ, достатня кількість безпечного та збалансованого харчування є важливим фактором для підтримки життя та укріплення здоров'я [3].

Питання безпеки харчових продуктів, харчування та продовольчої безпеки нерозривно пов'язані. Небезпечні продукти харчування породжують порочне коло хвороб і недостатність харчування, що особливо зачіпає новонароджених та немовлят, осіб похилого віку та хворих. Класифікація продуктів харчування показана на рис. 1.

Сьогодні ланцюг поставок продуктів харчування носить міжнародний характер. Ефективна співпраця між урядами країн, виробниками і споживачами продуктів харчування сприяє

забезпеченню безпеки харчових продуктів. Україна, у тому числі на законодавчому рівні, намагається вирішувати питання харчової безпеки, але це питання не лише держави, а ще й особисто кожного громадянина України. Відповідальність у питанні вибору продуктів та складання власного раціону є запорукою збереження здоров'я та профілактики цілого спектру захворювань, пов'язаних зі способом харчування [4].

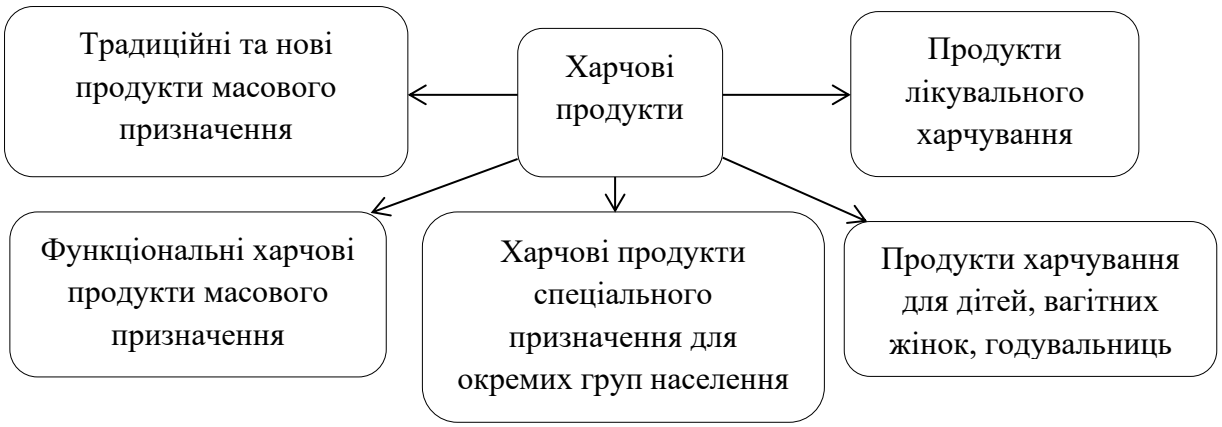


Рисунок 1. Класифікація продуктів харчування

Сьогодні ланцюг поставок продуктів харчування носить міжнародний характер. Ефективна співпраця між урядами країн, виробниками і споживачами продуктів харчування сприяє забезпеченню безпеки харчових продуктів. Україна, у тому числі на законодавчому рівні, намагається вирішувати питання харчової безпеки, але це питання не лише держави, а ще й особисто кожного громадянина України. Відповідальність у питанні вибору продуктів та складання власного раціону є запорукою збереження здоров'я та профілактики цілого спектру захворювань, пов'язаних зі способом харчування [4].

Харчові отруєння, крім шкоди для здоров'я конкретної людини, завдають значних втрат для економіки та іміджу держави, виробничих підприємств, торгівлі, туризму.

Для запобігання цим несприятливим наслідкам у кожній державі здійснюються певні засади державної політики щодо забезпечення якості та безпеки харчових продуктів і продовольчої сировини. В Україні вони визначаються Законами України "Про якість та безпеку харчових продуктів та продовольчої сировини", "Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів".

Держава бере на себе зобов'язання забезпечити кожній людині право отримати або безпечні харчові продукти в продажу або безпечні страви та харчові послуги в закладах ресторанного господарства.

Відповідальність за безпечність харчових продуктів несе виробник, а ось контроль – на боці держави, у рамках функцій та компетенцій Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів.

Державний нагляд та контроль здійснюється, Держпродспоживслужбою. Це велика інституція найдосвідченіших фахівців у галузі харчової безпеки, яка має власний план інспекцій та реагує на скарги, інформацію від споживачів та може влаштувати позачергову інспекцію, якщо на це є вагомі причини.

Історія розвитку стратегії харчової безпеки почалась більше ніж 50 років тому з документа, визнаного людством, CODEX ALIMENTARIUS. Досі це альфа та омега будь-якого документа стосовно безпечності харчових продуктів. Але за цей час були розроблені численні міжнародно визнані стандарти, загальні та галузеві, яких дотримується більшість харчових виробників у світі, зокрема в Україні [13,14].

Всесвітній день безпеки харчових продуктів (World Food Safety Day) – 7 липня. Організація об'єднаних націй (ООН) запровадила цей день, щоби привернути увагу до проблем, пов'язаних із харчуванням населення та якістю продуктів.

Небезпечні харчові продукти, що містять хвороботворні бактерії, віруси, паразити або шкідливі хімічні речовини, є причиною більш як 200 різноманітних хвороб — від діареї до онкологічних захворювань.

Безпека харчових продуктів важлива на всіх етапах від виробництва та збору врожаю, перероблення, зберігання, розподілу, аж до приготування та споживання їжі. Виробники й реалізатори продуктів харчування мають дотримуватися низки правил, щоб уникнути потенційно серйозних небезпек для здоров'я [12].

В Україні розроблена нормативно-правова база, що регулює процеси з надання якісних та безпечних продуктів споживачам. При виборі харчових продуктів варто обов'язково звертати увагу на зовнішній вигляд товару, упаковку, а також на маркування та інформацію про продукт, яка зазначена виробником.

Важливе значення для забезпечення випуску якісної продукції та попередження переходу до організму людини шкідливих речовин у кількостях, що перевищують гігієнічні норми, має контроль за вмістом контамінантів хімічного та біологічного походження. Для цього на підприємствах, які випускають харчову продукцію, рекомендується встановлювати порядок та періодичність контролю за показниками безпеки [7].

Потенційним джерелом емісії шкідливих речовин в продовольчу сировину і продукти харчування є навколишнє середовище. Вихлопні гази автомобілів, викиди промислових підприємств, відходи

тваринницьких комплексів, аерозолі, пестициди, добрива, миючі засоби, харчові консерванти і барвники - далеко неповний спектр джерел всіх органічних і неорганічних речовин, що забруднюють навколишнє середовище. Слідові кількості цих та подібних речовин зберігаються в рослинах, потрапляють в молоко і м'ясо тварин. Тобто, в організм людини з їжею, водою і повітрям проникає безліч хімічних речовин, для нього зовсім непотрібних, а нерідко і дуже шкідливих [10].

Основні шляхи антропогенного забруднення продуктів харчування і продовольчої сировини:

1. Застосування нових нетрадиційних технологій виробництва продуктів харчування, в тому числі і харчових речовин, отриманих шляхом хімічного і мікробіологічного синтезу.

2. Забруднення сільськогосподарських культур і продуктів тваринництва пестицидами, що використовуються для боротьби з шкідниками рослин і у ветеринарній практиці для лікувальної профілактики тварин.

3. Використання в тваринництві та птахівництві недозволених кормових добавок, консервантів, стимуляторів, профілактичних і лікувальних медикаментів, застосування дозволених препаратів у великих дозах.

4. Використання недозволених барвників, консервантів, антиокислювачів і застосування дозволених в кількостях, що перевищують їх граничні допустимі концентрації.

5. Порушення агротехнічних інструкцій з використання добрив, твердих і рідких відходів промисловості і тваринництва, стічних вод.

6. Міграція в продукти харчування токсичних речовин з харчового обладнання, упаковки внаслідок застосування недозволених полімерів, гумових та металевих предметів.

7. Утворення в харчових продуктах ендогенних токсичних сполук в процесі теплового впливу (наприклад, смаження, копчення, опромінення).

8. Недотримання санітарних вимог у технології виробництва та зберігання харчових продуктів, що призводить до утворення бактеріальних токсинів (афлатоксинів, мікотоксинів і ін.).

9. Надходження в продукти харчування і продовольчу сировину з навколишнього середовища токсичних і канцерогенних речовин, у тому числі і радіонуклідів [15].

З кількості зазначених антропогенних джерел забруднення харчових продуктів і продовольчої сировини останній є домінуючим, тому забруднення навколишнього середовища є свого роду індикатором оцінки їх екологічної чистоти і безпеки.

Хімічні елементи та сполуки можуть потрапляти в харчові продукти з ґрунту, атмосферного повітря, підземних і поверхневих вод, сільськогосподарської сировини, а через їжу – в організм людини [6].

Для забезпечення гарантованої безпеки продуктів харчування на переробних підприємствах України діє система аналізу загрози за критичними контрольними точкам HACCP (Hazard Analysis and Critical Control Point). HACCP є системою, призначеною для ідентифікації небезпечних факторів (біологічних, фізичних, механічних або хімічних властивостей харчової продукції, які можуть вплинуть на її безпеку) і встановлення засобів, необхідних для їх контролю. Ця система займає провідне місце у світовій харчовій індустрії.

HACCP — важливий інструмент для контролю безпеки харчування. Він охоплює багато різних аспектів: вимоги до стану приміщень, де зберігаються або готуються продукти, чистоту поверхонь, гігієну персоналу, зберігання та транспортування та багато іншого. Виробники мають дотримуватися принципів HACCP, а також різні установи, адміністрації навчальних закладів тощо, вони повинні впроваджувати та постійно підтримувати функціонування принципів системи HACCP (рис. 2) на харчоблоках [8].



Рисунок 2. Принципи системи HACCP

HACCP є системою, застосування якої призводить до виробництва мікробіологічно безпечних харчових продуктів шляхом аналізу ступеню небезпеки вихідних сирих матеріалів – тієї , яка може виникнути і на етапі виробництва харчових продуктів, і при їх споживанні. Використання даної системи передбачає активний систематичний контроль загроз, пов'язаних з харчовою продукцією. Незважаючи на те, що деякі класичні підходи до контролю безпеки харчових продуктів ґрунтуються виключно на тестуванні кінцевої

продукції, HACCP відштовхується від принципу контролю якості та безпеки всіх складових і всіх стадій процесу виробництва харчових продуктів і виходить з тієї передумови, що безпечна і якісна продукція може бути отримана тільки при ретельному контролі всіх вихідних матеріалів і всіх стадій виробництва. Таким чином, дана система побудована на контролюванні та визначенні мікроорганізмів на етапі підготовки та виробництві продуктів харчування. Правильне застосування системи аналізу загроз і критичних контрольних точок на підприємствах харчової промисловості та харчового обслуговування, а також у домашньому господарстві безсумнівно веде до зниження харчових захворювань.

Принципи системи аналізу загроз і критичних контрольних точок:

Брати під сумнів якість харчових продуктів і оцінювати біологічну небезпеку і ризики, пов'язані з вирощуванням та збиранням сирого матеріалу харчових продуктів, їх складових, а також усіх процесів підготовки, виробництва, розподілу, маркетингу, приготування їжі та її вживання [11].

Біологічна небезпека і ризики можуть бути оцінені з кожного індивідуального інгредієнта харчових продуктів за плаваючою діаграмою або за класифікацією кінцевого харчового продукту після присвоєння йому ступеня біологічної небезпеки.

Визначення критичної контрольної точки необхідно для контролю певної біологічної небезпеки.

Розрізняють два типи критичних контрольних точок (ККТ): ККТ-1 є критичною контрольною точкою для перевірки контролю біологічної небезпеки харчових продуктів, в той час як ККТ-2 є критичною контрольною точкою для мінімізації біологічної небезпеки продуктів харчування. Типовими ККТ є наступні:

1. Стадії термічної обробки, на яких для руйнування даних патогенів повинна підтримуватися взаємозалежність температури і часу.

2. При заморожуванні і періоді до заморожування – час перед тим, як патогени знаходять здатність до розмноження.

3. Підтримання pH харчових продуктів на рівні, що запобігає зростання патогенів.

4. Гігієна обслуговуючого персоналу.

5. Встановлювати критичні ліміти, які можуть мати місце при кожній певній критичній контрольній точці.

Критичний ліміт – це одне або більше з запропонованих допустимих відхилень, які повинні братися до уваги при визначенні ефективності контролю мікробіологічної небезпеки для здоров'я. Це може означати, наприклад, підтримування температури в холодильних установках на визначеному особливому рівні, в межах дуже вузької

області або гарантування того, що досягнута певна температура, яка мінімально необхідна для руйнування мікроорганізмів і підтримується досить довго для досягнення ефекту руйнування.

Встановлювати певні методичні підходи та процедури для моніторингу критичної контрольної точки.

Якщо, наприклад, температура для певної стадії процесу не повинна перевищувати 40°С, має бути встановлений самописець, що фіксує температуру. Мікробіологічні аналізи при цьому не використовуються, в силу того, що їх проведення вимагає занадто багато часу для отримання результатів. Водночас, фізичні та хімічні параметри, такі як час, pH, температура і активність води, можуть бути швидко визначені та результати отримані негайно.

Встановлювати коригувальні заходи, які повинні бути прийняті у випадку виявлення відхилень при моніторингу даної критичної контрольної точки.

Міри, що приймаються, повинні усунути біологічну небезпеку, яка була створена в результаті відхилень від плану системи аналізу ступеня небезпеки за критичної контрольної точки. Якщо для даного харчового продукту виявлена неможливість подальшого зберігання та вживання в результаті тих чи інших відхилень, він повинен бути негайно видалений. Незважаючи на те що, ті міри, що приймаються, можуть варіювати в широких межах, загалом і в цілому вони мають приводити до одного результату, а саме збереження критичної контрольної точки (ККТ) під суворим контролем.

Встановлювати методичні підходи та процедури для обстеження того, що HACCP працює коректно.

Верифікація включає методи, процедури та тести, які використовуються для того, щоб визначити, що система аналізу загроз і критичних контрольних точок працює в суворій відповідності з планом. У результаті верифікації отримують підтвердження того, що всі види біологічної небезпеки визначені планом системи аналізу загроз і критичних контрольних точок на стадії його розробки. Показники верифікації при їх встановленні можуть включати відповідність з набором встановлених критеріїв.

Встановлювати ефективну систему реєстрації, яка документувала план системи аналізу загроз і критичних контрольних точок.

План системи аналізу ступеня біологічної небезпеки за критичної контрольної точки повинен бути представлений окремим файлом у відповідному харчовому підприємстві або установі, і він повинен бути доступний офіційним інспекторам на їх вимогу.

Застосування принципів системи HACCP на практиці створює необхідні умови для гарантованого випуску безпечної продукції.

Ще одним документом, який стосується безпечності харчових продуктів є CODEX ALIMENTARIUS. Це міжнародні стандарти, методичні вказівки, норми та правила, що забезпечують безпеку та якість харчових продуктів. Він містить положення про гігієну харчових продуктів, харчові добавки, залишки пестицидів і ветеринарних лікарських препаратів, маркування та методах аналізу і відбору проб, контроль та сертифікацію імпорту та експорту харчових продуктів [9].

Висновки. Результати досліджень, свідчать, що проблема якості безпечності продуктів харчування в Україні існує. Її вирішення має комплексний характер, потребує врахування галузевих особливостей формування якості на всіх етапах виробництва сільськогосподарської продукції, її переробки, зберігання, транспортування і реалізації готової продукції.

З метою підвищення якості та безпечності продуктів харчування необхідне подальше вдосконалення нормативно-правової бази, яка регулює питання параметрів якості та безпечності продуктів харчування, продовження гармонізації міжнародних стандартів, особливо на методі контролю показників якості і безпеки продукції; врахування показників якості та безпечності харчових продуктів при обґрунтуванні системи індикаторів продовольчої безпеки. Важливою умовою гарантування продовольчої безпеки є активізація впровадження систем управління якістю і безпечністю продукції та їх сертифікація на підприємствах харчової промисловості [5].

Перспектива подальших досліджень передбачається у вивчені стану безпеки харчових продуктів у контексті сучасних тенденцій, забезпечення високої якості, як наслідок, створення сприятливих умов для виходу українських харчових продуктів на ринки інших країн.

Список використаних джерел

1. Безпека харчування: сучасні проблеми: посібник-довідник / А. В. Бабюк та ін. Чернівці: Книги XXI, 2005. 456 с.

2. Димань Т. М. Безпека продовольчої сировини і харчових продуктів: підручник. Київ: Академія, 2011. 520 с.

3. Кундєєва Г. О. Формування продовольчої безпеки в умовах екосоціо-економічної моделі суспільного розвитку: комплексний підхід: монографія / Національний університет харчових технологій. Ніжин, 2015. 240 с.

4. Кричковська Л. Бєлінська В. Безпека харчових продуктів: антиаліментарні фактори, ксенобіотики, харчові добавки. Харків: НТУ «ХПІ», 2017. 98 с.

5. Пчклянська Г. О. Безпека та якість продовольчих товарів: міжнародний аспект. *Збірник наукових праць Вінницького*

національного аграрного університету. Вінниця. 2012. № 3 (69), т. 2. С. 172-176.

6. Пшенична Т. М, Кирилюк Ю. Проблеми якості і безпечності харчових продуктів в контексті забезпечення імплементації економічної частини Угоди про асоціацію України з ЄС. *Науковий вісник Міжнародного гуманітарного університету. Сер. Економіка і менеджмент*. 2015. Вип. 11. С. 146-149.

7. Слива Ю. В., Швець Т. В. Сучасний стан розвитку міжнародної і національної нормативних баз щодо системи управління безпечністю харчових продуктів. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2013. № 6. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2013_6_13 (дата звернення: 15.09.2021).

8. Hazard Analysis Critical Control Point (HACCP). URL: http://www.fda.gov/Food/GuidanceRegulation/HACCP (дата звернення: 15.09.2021).

9. Codex Alimentarius. Международные стандарты на пищевые продукты. URL: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/codex-home/ru (дата звернення: 10.09.2021).

10. Lugovska O. A., Sydor V. M. Use emulsions in production restaurants and food industry. *Food and environment safety: journal of faculty of food engineering*. 2016. Vol. XV. P. 312-322.

11. Лявинець Г. М., Гавриш А. В., Нємiріч О. В., Арсеньєва Л. Ю. Технологія соусів емульсійного типу підвищеної харчової цінності. *Наука та інновації*. 2013. Т. 9, № 6. С. 15-19. DOI: doi.org/10.15407/scin9.06.015.

12. The State of Food Insecurity in the World 2013. The multiple dimensions of food security. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome. URL: https://www.fao.org/3/i3434e/i3434e.pdf (дата звернення: 18.09.2021).

13. Willer H., Lernoud J. The World of Organic Agri-culture. Statistics and Emerging Trends. Auflage Leitfaden. Handbuch. FiBL, IFOAM, 2017. 340 p.

14. Dereza S., Grigorenko S., Syrotyuk S., Jakubowski T. The Process of Operation of a Mobile Straw Spreading Unit with a Rotating Finger Body-Experimental Research. Processes 2021, 9 (7), 1144.

15. Global Food Security Index 2016: An annual measure of the state of global world security. URL: foodsecurityindex.eiu.com (дата звернення: 09.09.2021).

Стаття надійшла до редакції 12.11.2021 р.

O. Pahomska
Vinnytsia Institute of Trade and Economics

FOOD PRODUCTS - QUALITY AND SAFETY PROBLEMS

Summary

The questions of adjusting of safety of food products to Ukraine are examined in the article. The key tasks of quality management of food products are educed and the ways of improvement of directions of production of foodstuffs offer. The inalienable constituent of forming of food safety is providing of the proper quality and safety of foodstuffs. In fact food safety must guarantee not only a presence, variety and economic availability of food but also him high quality and unconcern of consumption for a human organism. Therefore the unconcern of foodstuffs must become priority direction of public policy in the field of food safety. By basic directions of providing of food safety in Ukraine must become development of modern standards and, that especially topically, observance of the ratified standards. Modern standardization is base on such basic principles: is taking into account of level of development of scitech, ecological requirements; financial viability and efficiency for a producer and public utility; bringing in is to development of all interested; acceptance of standards on condition of consensus, id est in default of just denials in relation to important questions in most parties concerned; an openness of information is about operating standards and programs of works; unambiguity, clearness, uncontradiction and validity of requirements of НД and possibility of their verification. The mechanism of guaranteeing of observance of national standards must become perspective direction of providing of safety of foodstuffs through the changes of legislation in the direction of input of effective penalty approvals for violation of standards, creation of new state institute that would control the observance of standards on foodstuffs.

Creating the preconditions for the availability of safe products on the market involves the use of quality raw materials, systematization of processing methods, providing modern production technology and the introduction of promising methods of food storage. The main prerequisites for creating quality management systems and food safety are given. Codex Alimentarius is the main body of internationally agreed food standards aimed at protecting the health of consumers.

Today control system by the unconcern of food products on principles of HACCP is confessed by the most reliable system in the world, that prevents the production of dangerous food products. Thus, with her gradual input the level of security of the Ukrainian consumer will grow.

Key words: safety, food products, HACCP, Law of Ukraine, quality, state control.

Е. Пахомская
Винницкий торгово-экономический институт КНТЭУ

ПИЩЕВЫЕ ПРОДУКТЫ - ПРОБЛЕМЫ КАЧЕСТВА И БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы регулирования безопасности пищевых продуктов Украины. Выявлены ключевые задачи управления качеством пищевых продуктов и предложены пути совершенствования направлений производства продуктов питания.

Перспективным направлением обеспечения безопасности продуктов питания должен стать механизм обеспечения соблюдения национальных стандартов из-за изменений законодательства в направлении внедрения действенных штрафных санкций за нарушение стандартов, создание нового государственного института, который бы контролировал соблюдение стандартов на продукты питания.Создание предпосылок наличии безопасных продуктов на рынке предполагает использование качественного сырья, систематизацию способов обработки, обеспечение современной технологии производства и внедрение перспективных методов хранения продуктов питания. Приведены основные предпосылки создания систем управления качеством и безопасностью пищевой продукции. Основным сборником согласованных на международном уровне стандартов на пищевые продукты, направленных на защиту здоровья потребителей, является Codex Alimentarius.

Ключевые слова: безопасность, пищевые продукты, НАССР, Закон Украины, качество, государственный контроль.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-30

УДК 663.81:664.8.037.1

О. В. Василишина, к.с.-г.н. ORCID: 0000-0002-1066-4009
Уманський національний університет садівництва

ЗМІНА ЩІЛЬНОСТІ ПЛОДІВ ВИШНІ ЗА ОБРОБКИ ПОЛІСАХАРИДНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ

Анотація. Стаття присвячена розробці нових способів зберігання плодів вишні. Нині як вітчизняними так і зарубіжними вченими ведеться пошук нових технологій зберігання сировини із заміною сучасних методів пакування, які б були екологічно чистими та не шкодили навколишньому середовищі. Тому розробка нових способів зберігання сировини із застосуванням попередньої обробки полісахаридами є актуальною. При цьому важливим є встановлення дії цих речовин на зовнішній вигляд та фізичні показники продукції після зберігання вивчених нами.

Ключові слова: полісахариди, плоди вишні, щільність, інтенсивність дихання.

Постановка проблеми. Однією з умов вибору споживачем якісного продукту є його щільність. Міцність плодів залежить від тургору клітинних стінок. Втрата стійкості клітинних стінок пов’язана з переходом протопектину у розчинний пектин [1−5].

Аналіз останніх досліджень. Текстура плодів є основним чинником, що визначає термін їх зберігання. Пом’якшення плодів є результатом дезактивації ферментів, що руйнують клітинні стінки − пектинази, метилестерази, полігалактуронази, каталази. За даними H. Zeraatgar та ін. [6] найвищу твердість мають плоди зизифусу, попередньо оброблені саліциловою кислотою 2 і 4 кг/см^2, тоді як найнижчий показник було зафіксовано в необробленому контролі − 3,6кг/см^2.

Дані досліджень отриманих T. Nasrin [7] підтверджують твердження, що щільність суниці протягом 9 діб зберігання знижується на 50%. Проте, за обробки розчином хітозану щільність плодів знижується лише на 18,4%.

За результатами наших досліджень протягом зберігання щільність плодів вишні залежить як від сортових особливостей так і від особливостей обробки. Так, за їх використання 100 мг/л розчину саліцилової кислоти після 15 діб зберігання плодів щільність

© О. В. Василишина

зменшувалась на 29,2−31,4% , тоді як обробка 1% розчином хітозану з саліциловою кислотою зумовила зменшення всього на 12,6−18,3%.

Таким чином, післязбиральна обробка сповільнювала розм'якшення плодів в результаті деградації серединної пластинки клітинної стінки плодів [8].

Формулювання цілей статті. Метою досліджень є визначення щільності та інтенсивності дихання плодів вишні попередньо оброблених полісахаридними композиціями та подальшого їх зберігання.

Основна частина. Дослідження проводили з плодами вишні сортів Альфа і Пам'ять Артеменка протягом 2016−2019 років. Для проведення досліджень 15 дерев кожного сорту за день до збирання обприскували розчином 100 мг/л саліцилової кислоти; 1% розчином хітозану з саліциловою кислотою (100 мг/л), висушували протягом 24 год. Плоди вишні знімали з дерев у споживчій стадії стиглості, закладали в ящики (№ 5) вагою 5 кг на зберігання за температури 1±0,5°С та відносної вологості повітря 95±1%. За контроль приймали необроблені плоди вишні.

Підготовку та відбір зразків для аналізу здійснювали за ДСТУ ISO 874-2002 [9, 10].

Протягом зберігання визначали щільність пенетрометром (Fruit penetrometer GY-4) та інтенсивність дихання плодів вишні [11]. Математичну обробку даних проводили на персональному комп'ютері за В. Ф. Мойсейченко (1992) та програмою „Excel 2000" [12].

Вплив полісахаридних покриттів на щільність плодів вишні протягом зберігання показано на рис.1.

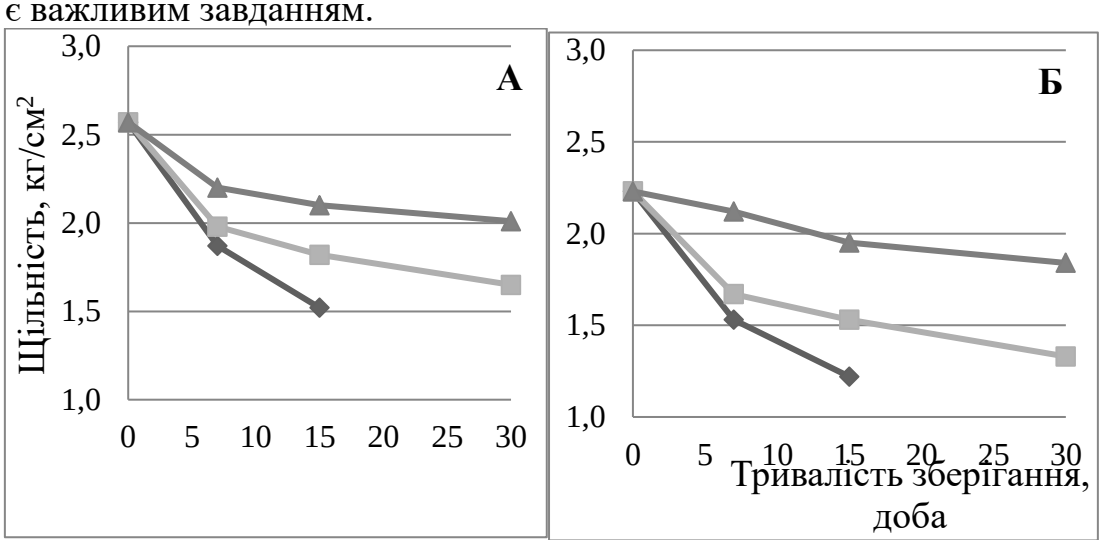
Залежно від сортових особливостей цей показник був на рівні 2,57 кг/см^2 (сорт Альфа) і 2,23 кг/см^2 (Пам'ять Артеменка).

На кінець 15 доби зберігання щільність необроблених плодів (контроль) знижувалась на 40,8% (сорт Альфа) та 45,3% (сорт Пам'ять Артеменка), через деградацію клітинних стінок.

В плодах, попередньо оброблених саліциловою кислотою, втрати були меншими і на 15 добу зберігання складали 29,2 і 31,4%. Найвищу твердість мали плоди вишні, оброблені 1% розчином хітозану з саліциловою кислотою − де зниження складало лише 18,3% та 12,6%.

Максимальний рівень щільності позначається на величині інтенсивності дихання та тепловиділення плодів. Між цими показниками було встановлено тісний зв'язок, згідно якого чим вища інтенсивність дихання плодів під час зберігання, тим більше тепла вони виділяють, а отже і вищим є додаткове навантаження на холодильне обладнання, і більшими є витрати на підтримання сталого температурного режиму в холодильній камері [13, 14]. Тому

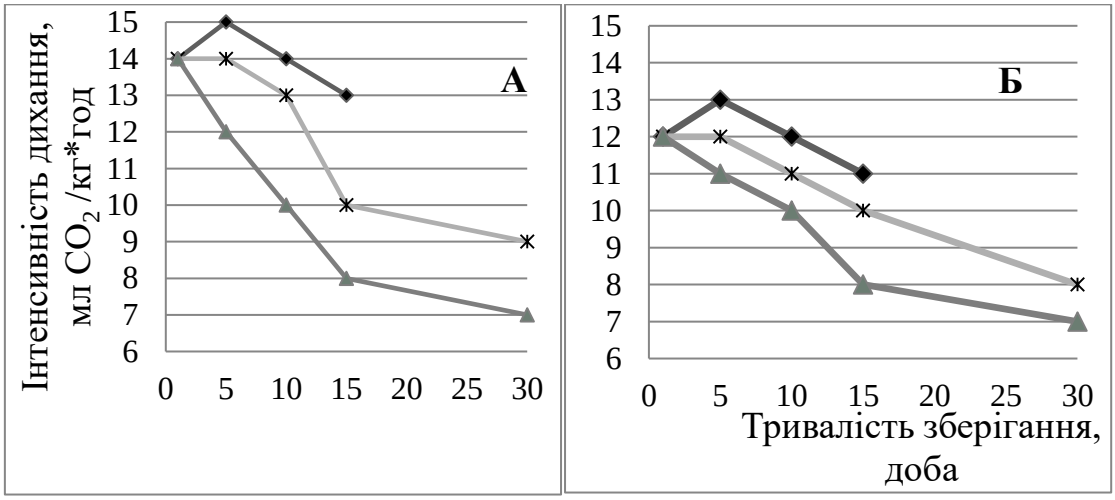
визначення інтенсивності дихання, щільності плодів та тепловиділення є важливим завданням.



– без оброблення (контроль);
– 100 мг/л розчин саліцилової кислоти;
– 1% хітозану та 100 мг/л розчин саліцилової кислоти.

Рисунок 1. Динаміка щільності плодів вишні сортів Альфа(А) і Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином саліцилової кислоти з хітозаном перед зберіганням (*HIP_{05} = 0,2*), 2016–2019 рр.:

Як показали результати досліджень (рис. 2) інтенсивність дихання плодів вишні протягом 15 діб зберігання знизилась з 12 до 11 мл CO_2/кг*год у плодів сорту Пам'ять Артеменка, а у плодів сорту Альфа з 14 до 13 мл CO_2/кг*год.



– без оброблення (контроль);
– 100 мг/л розчин саліцилової кислоти;
– 1% хітозану та 100 мг/л розчин саліцилової кислоти.

Рисунок 2 Зміна інтенсивності дихання в плодах вишні сортів Альфа (А) та Пам'ять Артеменка (Б), оброблених розчином хітозану з саліциловою кислотою перед зберіганням *(HIP_{05} = 1,6)*, 2016-2019 рр.

Попередня обробка плодів вишні розчином саліцилової кислоти з хітозаном сприяла подовженню терміну зберігання до 30 діб. На 15 добу зберігання інтенсивність дихання плодів за обробки розчином саліцилової кислоти у досліджуваних сортів знизилась на 9,0−15,4% порівняно з контролем. Обробка плодів вишні розчином саліцилової кислоти з хітозаном, дала змогу знизити інтенсивність дихання на 15добу на 27−38%.

До кінця зберігання порівняно з 15 добовим зберіганням інтенсивність дихання незначно зменшилась на 1−2мл CO_2/кг*год.

Висновки. Отже, плоди вишні, попередньо оброблені полісахаридними композиціями мали найвищу щільність за обробки 1% розчином хітозану сумісно з саліциловою кислотою − де зниження щільності складало лише 18,3% (сорт Альфа) та 12,6% (сорт Пам'ять Артеменка). За обробки плодів вишні розчином саліцилової кислоти з хітозаном термін їх зберігання подовжився до 30 діб. В цілому обробка плодів вишні розчином саліцилової кислоти з хітозаном, дала змогу знизити інтенсивність дихання на 15 добу на 27−38% на відміну від необроблених плодів вишні та до кінця зберігання істотно знизити.

Список використаних джерел

1. Lin M. G., Lasekan O., Saari N., Khairunniza-Bejo S. Effect of chitosan and carrageenan-based edible coatings on post-harvested longan (Dimocarpus longan) fruits. *CyTA - Journal of Food*. 2018. Vol. 16, № 1. P. 490−497. DOI: 10.1080/19476337.2017.1414078.

2. Alginate-edible coatings for application on wild andean blueberries (Vaccinium meridionale Swartz): Efect of the addition of nanofibrils isolated from cocoa by-products / C. Medina-Jaramillo et al. *Polymers,* 2020. Vol. 12, № 4. P. 824. DOI: 10.3390/polym12040824.

3. The effect of chitosan coating on the quality and nutraceutical traits of sweet cherry during postharvest life / M. Petriccione et al. *Food Bioprocess Technol*. 2015. Vol. 8, № 2. P. 394–408. DOI: 10.1007/s11947-014-1411-x.

4. Youzuo Z., Meiling Z., Huqing Y. Postharvest chitosan-g-salicylic acid application alleviates chilling injury and preserves cucumber fruit quality during cold storage. *Food chemistry*. 2015. Vol. 174. P. 558−563. DOI: 10.1016/j.foodchem.2014.11.106.

5. Zheng X., Tian S., Meng X., Li B. Physiological and biochemical responses in peach fruit to oxalic acid treatment during storage at room temperature. *Food Chemistry*. 2007. Vol. 104, № 1. P. 156–162. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.11.015.

6. Zeraatgar H., Davarynejad G. H., Moradinezhad F., Abedi B. Effect of salicylic acid and calcium nitrate spraying on qualitative properties and storability of fresh jujube fruit (Ziziphus jujube Mill.). *Notulae Botanicae*

Horti Agrobotanici. 2018. Vol. 46, № 1. P. 138−147. DOI: 10.15835/nbha46110743.

7. Postharvest quality responseof strawberries with aloe vera coating during refrigerated storage / T. A. A. Nasrin et al. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 2017. Vol. 92, № 6. P. 598-605. DOI: 10.1080/14620316.2017.1324326.

8. Seymour G. B., Taylor J. E., Tucker G. A. Biochemistry of Fruit Ripening. London: Chapman and Hall, 1993. 454 p. DOI: 10.1007/978-94-011-1584-1.

9. Методические рекомендации по хранению плодов, овощей и винограда: Организация и проведения исследований / под ред. С. Ю. Дженеева, В. И. Иванченко. Ялта: Ин-т винограда и вина «Магарач», 1998. 152 с.

10. ДСТУ ISO 874-2002. Фрукти та овочі свіжі. Відбирання проб (ISO 874:1980, IDT). [Чинний від 2003-10-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с.

11. Найченко В. М. Практикум з технології зберігання і переробки плодів та овочів з основами товарознавства: навчальний посібник. Київ: ФАДА ЛТД, 2001. 211 с.

12. Мойсейченко В. Ф. Основи наукових досліджень у плодівництві, овочівництві, виноградарстві та технології зберігання плодоовочевої продукції. Київ: НМК ВО, 1992. 208 с.

13. Сердюк М. Є., Кюрчева Л. М., Андрущенко М. В., Жукова В. Ф. Вплив розчинів нанометалів на інтенсивність окисно-відновних процесів при зберіганні плодів груші. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-55.

14. Василишина О. В. Встановлення взаємозв’язку між фізико-хімічними показниками плодів вишні протягом зберігання методом кореляційних плеяд. *Вісник Уманського національного університету садівництва.* 2020. № 2. С. 72−77. DOI: 10.31395/2310-0478-2020-2-72-77.

Стаття надійшла до редакції 12.11.2021 р.

O. Vasylyshyna
Uman National University of Horticulture

CHANGE OF DENSITY OF CHERRY FRUITS FOR TREATMENTS BY POLYSACCHARIDE COMPOSITIONS

Summary

The article is devoted to the development of new ways of storing cherry fruits. Currently, both domestic and foreign scientists are searching for new technologies for

storing raw materials with the replacement of modern packaging methods that would be environmentally friendly and do not harm the environment. Therefore, the development of new methods of storage of raw materials using pre-treatment with polysaccharides is relevant. It is important to establish the effect of these substances on the appearance and physical performance of products after storage of our studies.

Since one of the conditions for the consumer to choose a quality product is its density. The strength of the fruit depends on the turgor of the cell walls. Loss of cell wall stability is associated with the conversion of protopectin to soluble pectin. During storage, the density of pre-treated cherry fruits was determined by polysaccharide compositions with a penetrometer (Fruit penetrometer GY-4) and the intensity of fruit respiration. It was found that cherry fruits, pre-treated with polysaccharide compositions had the highest density when treated with 1% solution of chitosan in combination with salicylic acid - where the decrease in density was only 18.3% (variety Alpha) and 12.6% (variety Memory Artemenko). During the treatment of cherry fruits with a solution of salicylic acid with chitosan, their shelf life was extended to 30 days. In general, treatment of cherry fruits with a solution of salicylic acid with chitosan, allowed to reduce the intensity of respiration for 15 days by 27−38% in contrast to unprocessed cherry fruits and by the end of storage significantly reduce.

***Key words*:** polysaccharides, cherry fruits, density, respiration rate.

А. В. Василишина
Уманский национальный университет садоводства

ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОТНОСТИ ПЛОДОВ ВИШНИ ПРИ ОБРАБОТКЕ ПОЛИСАХАРИДНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ

Аннотация

Статья посвящена разработке новых способов хранения плодов вишни. Сейчас как отечественными так и зарубежными учеными ведется поиск новых технологий хранения сырья с заменой современных методов упаковки, которые были экологически чистыми и не вредили окружающей среде. Поэтому разработка новых способов хранения сырья с применением предварительной обработки полисахаридами актуальна. При этом важным является установление действия этих веществ на внешний вид и физические показатели продукции после хранения изученных нами.

***Ключевые слова*:** полисахариды, плоды вишни, плотность, интенсивность дыхания.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-31

УДК 664.2.001.53:637.523

Н. В. Камсуліна, к.т.н. ORCID: 0000-0001-6714-7785
Т. С. Желєва, к.т.н. ORCID: 0000-0002-5701-6543
Державний біотехнологічний університет
e-mail: kamsulina@gmail.com, sts512@ukr.net, тел.: (057) 34-94-590

ДОСЛІДЖЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАТИВНИХ ТА МОДИФІКОВАНИХ КРОХМАЛІВ

Анотація. В статті наведені результати дослідження фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей нативних та модифікованих крохмалів. Встановлено, що крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120 проявляє досить хороші значення цих властивостей та відповідає вимогам стандарту, які висуваються до модифікованих крохмалів. Він має добру жироемульгуючу та жироутримуючу здатності, а також високу вологоутримуючу здатність та стійкість емульсії. Крохмаль EUGEL FSM 85120 є продуктом вітчизняного виробництва, використання якого буде рентабельним та ефективним з економічної точки зору. Використання вітчизняних модифікованих крохмалів зі зниженою точкою клейстеризації гарантуватиме виробникові контрольовану та стабільну якість м'ясних виробів.

Ключові слова: нативний крохмаль, модифікований крохмаль, ковбасні вироби, емульсійна структура.

Постановка проблеми. Основними задачами сучасної м'ясної промисловості є комплексне використання тваринницької сировини та її глибока переробка в цілях збільшення об'єму виробництва продуктів харчування з високою біологічною цінністю. Особливий інтерес представляє м'ясна продукція з емульсійною структурою, що характеризується підвищеним попитом, обумовленим привабливим зовнішнім виглядом, гарною текстурою, високими смаковими і харчовими перевагами. Немаловажним є і той факт, що в складі вищезгаданої продукції жири знаходяться в емульсованому виді, що сприяє їхній швидкій і повній засвоюваності.

Технологія виробництва традиційної продукції з емульсійною структурою, як правило, не передбачає використання жирових інгредієнтів у вигляді тваринних жирів чи рослинних олій у

© Н. В. Камсуліна, Т. С. Желєва

самостійному виді з метою проведення процесу емульгування та одержання стійкої емульсії. Технологічний процес виробництва існуючих продуктів з емульсійною структурою трудомісткий і багатостадійний, а технологічні параметри окремих операцій досить варіабельні і визначаються функціональними властивостями сировини, що використовується.

У зв'язку з вищесказаним на сьогоднішній день, з метою одержання м'ясної продукції з новими споживчими властивостями та розширення її асортименту, найбільш раціональним є розробка технологій, що передбачають одержання високодисперсних, стійких у часі емульсійних систем. З огляду на сучасні тенденції по зниженню вмісту жиру і холестерину в харчуванні людини, одним із можливих напрямів при розробці такої технології є використання в складі м'ясної продукції емульсійного типу модифікованих крохмалів. Існуючі технології зазвичай передбачають використання крохмалів зарубіжного виробництва, що обумовлює одну з проблем виробників м'ясної продукції та робить актуальним пошук й впровадження інновацій з використання модифікованих крохмалів саме вітчизняного виробництва [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Крохмаль – це суміш полісахаридів амілози і амілопектину, мономером яких є альфа-глюкоза. Крохмаль синтезується різними рослинами в хлоропластах під дією світла при фотосинтезі. Він буває не тільки з картоплі, але і з кукурудзи, рису, пшениці, плодів маніоки і сої. Існує 2 групи крохмалю – нативний (природний) і модифікований [4-6].

Вивчення переваг споживачів м'ясної продукції свідчить про те, що вибір крохмалю визначається ступенем звикання споживачів до тих чи інших нюансів органолептичних характеристик продукції. З розширенням асортименту м'ясної промисловості її потреби в крохмалепродуктах з різними функціонально-технологічними характеристиками значно розширилися. Крохмаль та крохмалепродукти – це регулятори бажаних властивостей м'ясної продукції і показників її економічної ефективності. Використання крохмалю дозволяє поліпшити консистенцію і смак м'ясних виробів, підвищити вихід готової продукції [5, 7].

Також необхідно відзначити таку перевагу крахмалопродуктів, як практично ідеальна сполучуваність з іншими харчовими інгредієнтами, в тому числі каррагінаном, молочними білками, соєвими білками, плазмою крові, яйцепродуктами тощо [7]. Відомо ефективність та раціональність використання крохмалю у складі білково-вуглеводних добавок для виробництва м'ясопродуктів [8].

Проте, фізико-хімічні властивості нативних крохмалів не завжди задовольняють вимогам споживачів та мають обмежене застосування.

Тому виробники м’ясної продукції використовують різні модифікації крохмалю, що проходять на клітинному рівні, з метою поліпшення його властивостей [1, 9, 10].

Спеціальна Експертна комісія, яка була створена при Всесвітній Організації Охорони здоров’я, стверджує, що модифікований крохмаль являє собою поліпшений тип харчового крохмалю зі зміненими характеристиками, для обробки якого були застосовані хімічні, біохімічні, фізичні та деякі комбіновані процеси. Для його отримання в якості вихідного матеріалу використовується полісахарид амілози, тобто, природний крохмаль [11].

З метою отримання модифікованого крохмалю виробники, як правило, застосовують всілякі методи впливу хімічними реагентами. В результаті даного процесу здійснюється перетворення вихідної сировини в глюкозу. Для того, щоб отримати модифікований крохмаль, виробники можуть використовувати кілька різних способів [7,10,12,13].

Так, відповідно до ДСТУ 4380:2005, модифікований крохмаль залежно від характеру змін, що відбулись з крохмалем, умовно підрозділяють на дві основні групи: 1) крохмаль, одержаний внаслідок порушування структури крохмалю; 2) крохмаль, одержаний введенням у нього заміщувальних груп внаслідок етерифікації та естерифікації (утворення простих і складних ефірів із кислот і спиртів) і спільної полімеризації з іншими високомолекулярними сполуками (сополімери крохмалю).

Крім того, модифікований крохмаль, залежно від способів його одержання, реагентів і матеріалів, що застосовуються під час його виробництва, підрозділяють на такі основні види:

– набухаючий крохмаль – крохмаль, що має підвищену здатність набухати і клейстеризуватись в холодній воді, одержують гідротермічним чи механічним оброблянням крохмального клейстеру чи вологого крохмалю із доданням реагентів або без них;

– окислений крохмаль – крохмаль, що має здатність утворювати клейстери підвищеної прозорості і зниженої в’язкості, одержують взаємодією крохмалю з окислювачами. Окислювачами можуть бути пероксид водню, персульфат амонію, калію перманганат та інше. Окислений крохмаль залежно від окислювача, що застосовують, може бути: желювальним, рідкокиплячим, окисленим та інше;

– гідролізований крохмаль – крохмаль, що одержують частковим гідролізом крохмалю за допомогою кислот, лугів і ферментів;

– декстрини – сполуки, які одержують термічним обробляннням крохмалю у присутності каталізатора. Підрозділяють на кислотні, сольові, лужні;

– поперечнозв’язаний крохмаль – крохмаль, що одержують обробляннням крохмалю ди- чи поліфункційними реагентами, такими як формальдегід, хлороксид фосфору та інше, де два або більше полімерних ланцюгів зв’язані між собою;

– ацетильований крохмаль (ацетати крохмалю), одержують взаємодією крохмалю з оцтовою кислотою чи іншими ацетилювальними реагентами;

– оксилалкильований крохмаль – простий ефір, одержують в результаті взаємодії крохмалю та оксиду етилену або пропілену;

– фосфатний крохмаль – прості і складні ефіри, монокрохмалефосфати і дикрохмалефосфати, одержують взаємодією крохмалю з фосфорною кислотою чи її солями;

– сукцинати крохмалю – складні ефіри крохмалю та янтарної кислоти [14-16].

Отже, модифікований крохмаль – крохмаль, отриманий в результаті фізичного, хімічного, біохімічного або комбінованого обробленого нативного крохмалю для зміни його властивостей [3, 13]. Так, наприклад, фізичні зміни дозволяють отримати крохмаль з високою здатністю утримувати вологу, що в свою чергу надає кінцевому продукту бажану консистенцію. Модифіковані крохмалі мають підвищену вологоутримуючу, згущуючу, драглеутворюючу, емульгуючу, плівкоутворюючу здатність [1,12,17].

Як свідчать численні літературні дані, питання, які пов’язані з модифікованими крохмалями, їх складом, харчовою і біологічною цінністю, переробкою і використанням, займають провідне місце в промисловості всіх розвинених країн світу, і з кожним роком увага до цієї проблеми зростає.

Необхідність, доцільність і можливість промислової переробки крохмалемісткої сировини в даний час у професіоналів всього світу не викликають сумнівів. Завдання полягає в тому, як це з найменшими витратами практично здійснити [1].

Модифіковані крохмалі знайшли застосування у ряді харчових галузей промисловості, у тому числі при виробництві продуктів на м’ясній основі, хоча до теперішнього часу модифіковані крохмалі використовуються недостатньо, не дивлячись на цілий комплекс позитивних властивостей [1-3].

Відомо, що для створення відновних умов, збільшення стійкості забарвлення і пом’якшення солоного смаку в м’ясні продукти прийнято додавати вуглеводи. З цією метою при посолі м’яса частіше за все використовують сахарозу або глюкозу. Введення модифікованого крохмалю маскує солоний і гіркий смак в м’ясних продуктах, поліпшує колір завдяки наявності у присутньої в ній лактози редукуючих властивостей.

Нові харчові продукти виготовлені на основі модифікованих крохмалів все більше завойовують продуктовий ринок і займають чинне місце в раціоні харчування населення. Вони мають добрі смакові властивості, які можна регулювати в широкому діапазоні [1,9,10,17-19].

Проте сучасні умови виробництва продуктів диктують необхідність використовування не тільки максимально корисних, але і високорентабельних сировинних інгредієнтів вітчизняного виробництва. Так, важливим питанням при виробництві м'ясних продуктів є вибір кінцевих продуктів, оскільки від них залежить об'єм необхідних інвестицій. Не дивлячись на високу ефективність використання модифікованого крохмалю у м'ясній промисловості, на українському ринку майже відсутні модифіковані крохмалі вітчизняного виробництва. Тому, перспективним та рентабельним є пошук та використання модифікованого крохмалю вітчизняного виробництва, а також необхідність ретельного та відповідального підходу до його вибору під час виробництва ковбасних виробів.

Формулювання мети статті. Метою роботи є дослідження фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей нативних та модифікованих крохмалів з метою їх цілеспрямованого використання у технологіях виробництва ковбас емульсійного типу.

Основна частина. Враховуючи широкий асортимент модифікованих крохмалів на ринку харчових добавок, рекомендованих для використання у м'ясній промисловості, виникає необхідність вивчення їх фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей та порівняння їх з властивостями нативних крохмалів. Тому, першим етапом наших досліджень було визначення фізико-хімічних властивостей модифікованих крохмалів, а саме їх умовну в'язкість, здатність до драглеутворення та міцність драглів. Визначення даних властивостей проводили за методиками відповідно до ДСТУ 4380:2005. Для дослідження використовували водні розчини картопляного та кукурудзяного крохмалів концентрацією 12% та 9% відповідно. Крохмалі були обрані від вітчизняного виробника модифікованих крохмалів ТОВ «Абрус», який нещодавно з'явився на ринку України та пропонує широкий асортимент модифікованих та нативних крохмалів для широкого кола харчових продуктів.

Дані, одержані в результаті дослідження, наведено у таблиці 1.

Аналізуючи отримані дані, можна зробити пропозиції щодо рекомендацій для використання певних видів крохмалю при виробництві окремих видів м'ясних продуктів. Так, для виробництва ковбасних виробів можна рекомендувати крохмалі кукурудзяний та картопляний нативні, а також крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120. Ці види крохмалю утворюють гелеподібні структури, достатньо пружні.

Таблиця 1

Фізико-хімічні властивості крохмалів

Крохмаль	Умовна в'язкість, с	Здатність до драглеутворення	Міцність драглів, г
Крохмаль картопляний нативний	60	Непрозорий гель білого кольору, не дуже пружній. Погано тримає форму	228
Крохмаль кукурудзяний нативний	13	Непрозорий гель білого кольору, більш пружній ніж картопляний. Тримає форму	230
NISTATYL CH 31105 крохмаль картопляний модифікований	1	Драглеподібна непрозора маса бежевого кольору. Розшаровується. Без тари погано тримає форму	180
EUGEL FSM 85120 крохмаль кукурудзяний модифікований	11,5	Непрозорий гель білого кольору. Пружній, добре тримає форму. Пружньо-пластичний	180
PROAMYL OXP 90120 крохмаль кукурудзяний модифікований	1	В'язка система білого кольору. Не прозора. Гель не утворюється	-
PROAMYL AD-SX 11518 крохмаль кукурудзяний модифікований	1	В'язка система білого кольору, більш в'язка ніж попередня система. Не прозора. Гель не утворюється	-
EUGEL CH 31105 крохмаль кукурудзяний модифікований	1	Непрозорий гель бежевого кольору. Добре тримає форму. Пружній	170
PROAMYL ADS 10518 крохмаль кукурудзяний модифікований	30	В'язка непрозора маса білого кольору. Дуже в'язка система, але гель не утворюється	-
Gooloid крохмаль кукурудзяний модифікований	11	Желеподібна непрозора система білого кольору. Під час заварювання утворюється в'язка система, але не гель.	-

Також необхідно відмітити, що нативні крохмалі спочатку утворюють в'язкі розчини, а потім пружні гелі. Модифікований крохмаль спочатку ж утворює менш в'язкі розчини та потім менш пружні системи, які згодом перетворюються у пружно-пластичні гелі, що добре тримають форму. А, отже, ця їх властивість дозволить полегшити ведення технологічних процесів на першій стадії, особливо під час використання трубопроводів, а в готових виробах, які виробляють на основі емульсійних систем, дозволить отримувати вироби, які не мають «гумову» структуру.

Другим етапом наших досліджень було визначення функціонально-технологічних показників крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM 85120. Дослідження проводили також за методиками, зазначених у ДСТУ 4380:2005. Результати дослідження наведені в таблиці 2.

Таблиця 2

Функціонально-технологічні показники крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM 85120

Показник	Значення
pH	6,2
Жироемульгуюча здатність, %	72,3
Жироутримуюча здатність, %	90,5
Вологоутримуюча здатність, %	100
Масова частка вологи, %	10

Дані таблиці 2 свідчать, що крохмаль EUGEL FSM 85120 відповідає вимогам стандарту, які висуваються до модифікованих крохмалів. Крім того, він має добру жироемульгуючу та жироутримуючу здатності, а також високу вологоутримуючу здатність.

Значну частку м'ясних виробів виробляють на основі м'ясної фаршевої емульсії. Необхідність попереднього приготування емульсії викликана тим, що компоненти, які використовуються під час приготування фаршу взаємно нерозчинні. Тому дозування суміші одним дозатором може бути здійснено тільки в тому випадку, якщо буде досягнуте одержання нерозшаровуваної системи із взаємнонерозчинних рідин, що забезпечує дотримання рецептурного співвідношення сировини.

Для одержання міцної та нерозшаровуваної емульсії необхідна присутність у цій системі емульгатора, що знижує поверхневий натяг на границі поділу двох фаз й окутує тонкою, механічно міцною плівкою частки дисперсної фази, тим самим запобігаючи можливості їхнього злиття.

Міцність емульсії залежить не тільки від виду емульгатора і його концентрації, але також і від ступеня дисперсності жиру: чим вона вище, тим за інших рівних умов стійкіше емульсія.

Більша частина рецептур м'ясних виробів включає у свій склад природні емульгуючі речовини, тому для цієї групи рецептур є сприятливі умови для одержання досить стійкої емульсії. Вироби, приготовані на основі емульсії, мають більш чітку форму, володіють більшою соковитістю.

З урахування вищезазначеного, вважаємо доцільним провести дослідження з визначення стабільності емульсії на основі крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM 85120 та нативного, що стало наступним етапом наших досліджень. Для дослідження використовували емульсії, що містили 1%, 3%, 5% та 7% крохмалю. Одержані результати зображені на графіку (рис. 1).

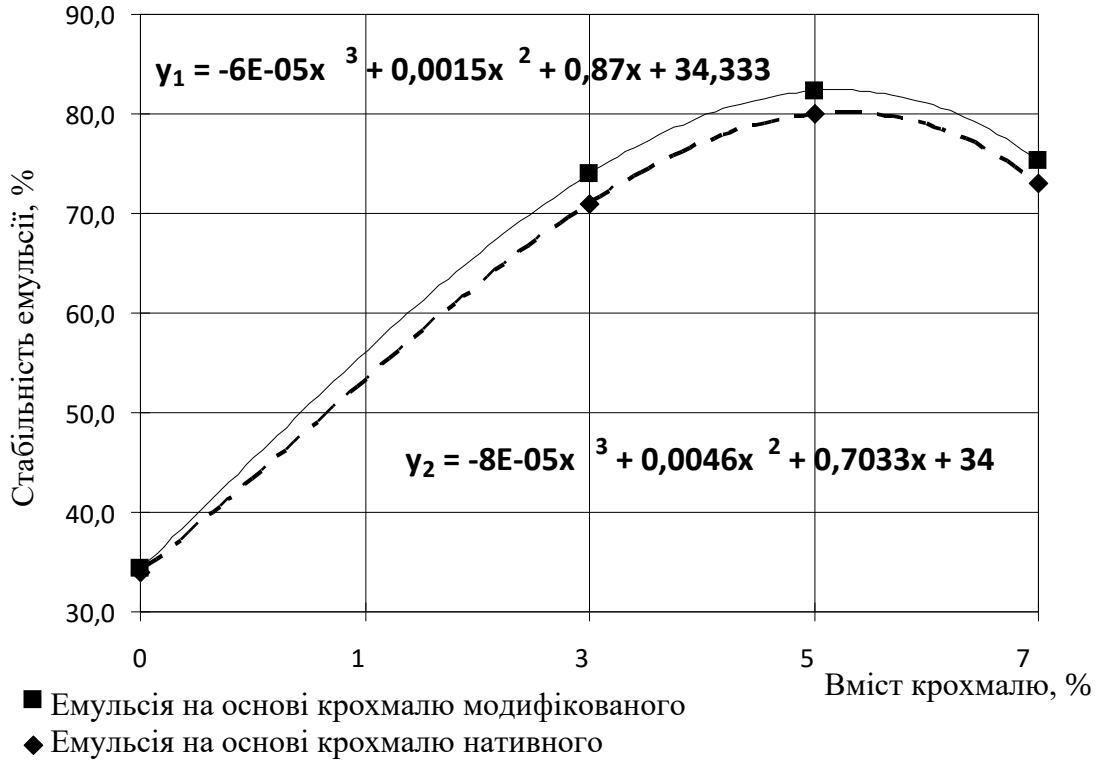


Рисунок 1. Стабільність емульсії на основі крохмалю

Як видно з графіка, максимальна стабільність емульсії спостерігається під час введення до емульсії 5% крохмалю, як нативного, так й модифікованого. Слід відзначити, динаміку росту значень стабільності емульсії на основі крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM 85120 в порівнянні з нативним, а також його найбільше значення за вмісту крохмалю 5%.

Після визначення основних функціонально-технологічних показників крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM

85120 можна зробити висновок, що їх значення досить хороші та відповідають вимогам ДСТУ 4380:2005.

Завершальним етапом досліджень було вивчення впливу крохмалю на функціонально-технологічні властивості модельних фаршевих систем (табл. 3). Контролем виступала модельна фаршева система, рецептурний склад якої відповідав ковбасі Молочній вищого гатунку [20]. Згідно з нормативною документацією та враховуючи результати попередніх досліджень визначено, що введення у систему крохмалю може складати від 2% до 5%. Тому для подальшого дослідження використовували модельні фаршеві системи, що містили в своєму складі крохмалі картопляний та кукурудзяний нативні, а також крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120 у кількості 3% та 5%.

Таблиця 3

Функціонально-технологічні властивості модельних фаршевих систем

Модельна фаршева система	Масова частка вологи, %	Вологозв'язуюча здатність, %	Вихід готової продукції, %
Модельна фаршева система (контроль)	46,6	55,4	87,5
Модельна фаршева система + 3% крохмаль картопляний	53,3	58,3	91,6
Модельна фаршева система + 5% крохмаль картопляний	60	60,1	90,4
Модельна фаршева система + 3% крохмаль кукурудзяний	53,3	55,6	91
Модельна фаршева система + 5% крохмаль кукурудзяний	80	59,8	91
Модельна фаршева система + 3% крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120	46,6	61,2	92,4
Модельна фаршева система + 5 % крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120	60	62	91,3

Масову частку вологи визначали арбітражним методом, шляхом висушування зразку до постійної маси, за ДСТУ ISO 1442:2005. Вологозв'язувальну здатність модельних фаршевих систем визначали методом пресування. Вихід готової продукції розраховували за стандартною ваговою методикою відповідно до ГОСТ 31988-2012.

З отриманих даних (табл. 3) видно, що використання усіх видів крохмалю призводить до збільшення значень показників функціонально-технологічних властивостей модельних фаршевих систем. Зокрема, використання крохмалю призводить до збільшення масової частки вологи фаршевих систем майже на 33,4%, вологозв'язуючої здатності – на 6,6%, виходу готової продукції – на 4,9%. Що ж стосується модифікованого крохмалю необхідно відмітити наступне. По-перше, спостерігаються найбільші значення показників вологозв'язуючої здатності фаршевих систем (за вмісту крохмалю 3% та 5%) та виходу готової продукції (за вмісту крохмалю 3%). По-друге, встановлено стабільність масової частки вологи фаршевих систем за вмісту крохмалю 3% порівняно з контролем.

Крохмаль додається в основному, як недорогий вид стабілізатора, який розкривається під час нагрівання і добре ущільнює продукт. Однак при роботі з ним теж є нюанси. Справа в тому, що під час нагрівання крохмалі, як правило, дають клейстер в діапазоні температур 60…90 °С, а в ковбасному виробництві максимально допустима температура 72 °С. Саме тому, часто крохмалі не розкриваються і проходять баластом, практично не зв'язуючи вологу і несучи в готовий виріб специфічний запах. Тому ми не рекомендуємо використовувати нативні крохмалі, оскільки вони не мають стабільності при температурі «желювання». Вважаємо більш ефективним є використання модифікованих крохмалів зі зниженою точкою клейстеризації, що гарантуватиме виробнику ковбасних виробів контрольовану і стабільну якість виробів, а також відсутність вад щодо смаку. Ці ствердження підтверджують й результати органолептичної оцінки фаршевих систем після теплової обробки, що здійснювали аналітичним якісним методом за ГОСТ 4288-76. Системи, що містили в своєму складі крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120, мали органолептичні показники значно ліпші ніж системи, для яких використовували нативні крохмалі.

Системи з модифікованим крохмалем не здобували сторонніх смаку та запаху, колір не змінився, а соковитість виробів була значно вища, особливо під час використання 3 % крохмалю.

Висновки. За результатами проведених досліджень встановлено, що за фізико-хімічними та функціонально-технологічними показниками крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120 проявляє досить хороші значення та відповідає вимогам

стандарту, які висуваються до модифікованих крохмалів. Крім того, він має добру жироемульгуючу та жироутримуючу здатності, а також високу вологоутримуючу здатність та стійкість емульсії.

Результати функціонально-технологічних властивостей та органолептичної оцінки модельних фаршевих систем, дозволяють рекомендувати використання крохмалю кукурудзяного модифікованого EUGEL FSM 85120 у складі ковбасних виробів емульсійної структури. Крім того, крохмаль кукурудзяний модифікований EUGEL FSM 85120 є продуктом вітчизняного виробництва, використання якого буде рентабельним та ефективним з економічної точки зору. Також використання вітчизняних модифікованих крохмалів зі зниженою точкою клейстеризації гарантуватиме виробникові контрольовану та стабільну якість м'ясних виробів. Рекомендоване дозування таких крохмалів – не більше 5%.

Список використаних джерел

1. Abbas K. A., Sahar K. Khalil, Anis Shobirin Meor Hussin. Modified Starches and Their Usages in Selected Food Products: A Review Study. *Journal of Agricultural Science.* 2010. Vol. 2, № 2. P. 90-100. DOI: 10.5539/jas.v2n2p90.

2. Камсуліна Н. В., Желєва Т. С. Перспективи використання модифікованих крохмалів у технології м'ясних виробів. *Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (м. Харків, 18 травня 2021 р.). Харків: ХДУХТ, 2021. Ч. 2. С. 69-70.

3. Желєва Т. С., Камсуліна Н. В. Використання крохмалю в м'ясній промисловості. *Science and Practice: Implementation to Modern Society.* Abstracts of X International Scientific and Practical Conference, Manchester, Great Britain, 4-5 June 2021. Manchester, 2021. P. 36-38.

4. Використання крохмалю в м'ясній промисловості. URL: http://www.foodinside.com.ua/2020/10/08/vikoristannya-krokhmalyu-v-myasnij-promislovosti/ (дата звернення: 16.10.2021).

5. Swenson K. J., Katen T. Starch Applications in Meat Products. Proceedings of the 57th American Meat Science Association. Reciprocal Meat Conference, Lexington, Kentucky, June 20-23, 2004. Lexington. Kentucky. 2004. P. 89. URL: https://www.meatscience.org/docs/default-source/publications-resources/rmc/2004/starch-applications-in-meat-products(3).pdf?sfvrsn=2 (дата звернення: 16.10.2021).

6. Типы крахмалов для пищевой промышленности. URL: https://bpk-spb.com/statii/krahmal-kupit.php (дата звернення: 16.10.2021).

7. Application of starch based additives in meat industry. URL: https://www.researchgate.net/publication/281632722_Application_of_starch_based_additives_in_meat_industry (дата звернення: 16.10.2021).

8. Толпыгина И. Н., Антипова Л. В., Мартемьянова Л. Е., Ильина Н. М. Белково-углеводные добавки в производстве мясопродуктов. *Вестник ВГУИТ*. 2013. № 1. С. 98-100.

9. Zhang L., Barbut S. Effects of regular and modified starches on cooked pale, soft, and exudative; normal; and dry, firm, and dark breast meat batters. *Poultry Science.* 2005. Vol. 84, № 5. P. 789-796. DOI: 10.1093/ps/84.5.789.

10. Skrede G. Comparison of various types of starch when used in meat sausages. *Meat Science*. 1989. Vol. 25, № 1. P. 21-36. DOI: 10.1016/0309-1740(89)90063-6.

11. Модифікований крохмаль. URL: https://10000menu.ru/produkti/13202-modifikovanij-krohmal-shkodu-modifikovanogo.html (дата звернення: 16.10.2021).

12. Modified Starches. What is it? URL: https://starchinfood.eu/ingredient/modified-starches/ (дата звернення: 16.10.2021).

13. Ощипок І. М. Методи отримання модифікованого крохмалю і його застосування у виробництві варених ковбас. *International forum: problems and scientific solutions. Scientific Collection «Interconf».* 2020. № 1 (34). С. 701-707. URL: https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/interconf/article/download/5613/5583/.

14. ДСТУ 4380:2005. Крохмаль модифікований. Загальні технічні умови. [Чинний від 2006-04-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 20 с.

15. Modified Starches. URL: https://www.fao.org/3/ca3740en/ca3740en.pdf (дата звернення: 16.10.2021).

16. Какой выбрать и купить крахмал для производства. URL: http://www.imt-group.org/starch.html (дата звернення: 16.10.2021).

17. Modified starches. URL: https://www.ingredion.com/emea/en-uk/ingredients/ingredient-types/starches/modified-starch.html (дата звернення: 16.10.2021).

18. Quality Characteristics of Beef Patties Prepared with Octenyl-Succinylated (Osan) Starch / M. F. Eshag Osman. *Foods*. 2021. № 10. P. 1157. DOI: https://doi.org/10.3390/foods10061157.

19. Totosaus A. The Use of Potato Starch in Meat Products. *Food. Global Science Books.* 2009. Vol. 3, № 1. P. 102-108. URL: http://www.globalsciencebooks.info/Online/GSBOnline/images/0906/FOOD_3(SI1)/FOOD_3(SI1)102-108o.pdf (дата звернення: 16.10.2021).

20. Рогов И. И., Забашта Л. К., Ибрагимов Р. М., Забашта Л. Л. Производство мясных полуфабрикатов и быстрозамороженных блюд: учебное пособие. Москва: Колос, 1997. 336 с.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2021 р.

N. Kamsulina, T. Zhelieva
State Biotechnological University

RESEARCH OF PHYSICO-CHEMICAL AND FUNCTIONAL-TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF NATIVE AND MODIFIED STARCHES

Summary

Today, in order to obtain meat products with new consumer properties and expand its range, the most rational is the development of technologies that provide highly dispersed, time-stable emulsion systems. One of the promising areas in the development of technologies for the production of emulsion-type meat products is the use of various types of starches. Given the wide range of functional and technological properties that modified starches have, they receive special attention. Existing technologies usually involve the use of modified starches of foreign production, which causes one of the problems of meat producers and makes it important to find and implement innovations in the use of modified starches of domestic production. In view of the above, the article is devoted to the results of the study of physicochemical and functional-technological properties of native and modified starches for the purpose of their purposeful use in technologies for the production of emulsion-type sausages. It was found that according to these indicators among the studied starches the best starch is corn modified starch EUGEL FSM 85120, which has a fairly good value and meets the requirements of the standard for modified starches. In addition, it has good fat-emulsifying and fat-retaining abilities, as well as high moisture-retaining ability and stability of the emulsion.

The results of functional-technological properties and organoleptic evaluation of model minced meat systems allow to recommend the use of modified corn starch EUGEL FSM 85120 in the composition of sausages of emulsion structure. In addition, it is a product of domestic production, the use of which will be cost-effective and economically efficient. The use of domestic modified starches with a reduced gelatinization point will also guarantee the manufacturer a controlled and stable quality of meat products. Their recommended dosage is determined.

Key words: native starch, modified starch, sausages, emulsion structure.

Н. В. Камсулина, Т. С. Желева
Государственный биотехнологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ФУНКЦИОНАЛЬНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НАТИВНЫХ И МОДИФИЦИРОВАННЫХ КРАХМАЛОВ

Аннотация

В статье приведены результаты исследования физико-химических и функционально-технологических свойств нативных и модифицированных крахмалов. Установлено, что крахмал кукурузный модифицированный EUGEL

FSM 85120 проявляет достаточно хорошие значения этих свойств и соответствует требованиям стандарта, предъявляемым к модифицированным крахмалам. Он имеет хорошую жироэмульгирующую и жироудерживающую способности, а также высокую влагоудерживающую способность и устойчивость эмульсии. Крахмал EUGEL FSM 85120 является продуктом отечественного производства, использование которого будет рентабельным и эффективным с экономической точки зрения. Использование отечественных модифицированных крахмалов с пониженной точкой клейстеризации будет гарантировать производителю контролируемое и стабильное качество мясных изделий.

Ключевые слова: нативный крахмал, модифицированный крахмал, колбасные изделия, эмульсионная структура.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-32

UDC 613.262/22:614.31.07

Igor Mazurenko[1], d.t.s., prof. ORCID: 0000-0003-2233-7563
Zhengzheng Shao[2], postgraduate student* ORCID: 0000-0001-9776-133X
Yangui Xie [1], lecturer ORCID: 0000-0001-6722-1105
[1]Hunan University of Humanities, Science and Technology, Hunan, 417000 China
[2]School of Food Science, Henan Institute of Science and Technology, Xinxiang 453003, China

THE PLANT RAW MATERIALS AND MEDICINAL PLANTS FOR CHILDREN'S FUNCTIONAL FOODS, SAFETY STUDIES

Annotation. The scientific article presents the results of research on the safety of raw materials of plant origin grown in Ukraine and China, as well as exotic fruits that are traditional in Asian countries. The results of the research will allow to offer uniform requirements for raw materials of plant origin and medicinal plants grown in Ukraine and China, and can be used for the production of baby food for therapeutic and prophylactic purposes.

The only safety indicators will be taken into account in basic research and applied development of parameters of heat treatment of raw materials. At the same time, the results of research are planned to be used in the development of regulatory and technological documents for raw materials used in the production of baby food

Key words: children's functional nutrition, raw materials of plant origin, medicinal plants, safety indicators.

Formulation of the problem. Raw materials used for the production of children's and functional products are produced mainly in special raw material zones. Components and raw materials must meet the mandatory safety parameters and minimum quality specifications approved by the central executive body, which ensures the formation of state policy in the field of health care. The use of raw materials containing hormonal drugs, antibiotics, residues of heavy metals, pesticides, radionuclides and other hazardous substances, the presence of which is not allowed by state sanitary norms or the content of which exceeds the maximum permissible levels of residues in baby food, is prohibited. The use of raw materials that do not comply with the sanitary measures established by law is prohibited in the production of baby food [1, 2].

© Igor Mazurenko, Zhengzheng Shao, Yangui Xie
* Scientific supervisor - Doctor of Technical Sciences, Professor Mazurenko Igor

In the course of the research, spot samples of raw materials were taken and subsequently combined into one sample, according to the established methods [2; 3]. We studied vegetables, fruits of varieties that are traditionally grown in Ukraine and China, as well as medicinal plants. In previous studies, tests were conducted to determine a system of uniform indicators of manufacturability [4; 5].

Samples of raw materials tested for the presence of the final mass fraction of toxic elements, nitrates and radionuclides, their content in raw materials used for the production of products for children should not exceed the permissible levels specified in current regulations [2 - 6, 9]. The content of toxic elements and nitrates was studied in the skin and flesh, the content of radionuclides in the whole fruit The results of the study are given in table. 1 - 8, the probability of research is about 95%.

The concentration of the mass fraction of toxic elements and nitrates in the skin of the fruit is slightly higher. At the same time there is an increased concentration in carrots of varieties grown in China. Safety indicators are within acceptable limits.

Table 1

Content of nitrates and toxic elements in carrots (n=3, P≥0,95)

Variety name		The norm is not more than mg / kg						
		Toxic elements						Nitrates mg NO_3 /kg 250,0
		Lead 0,10	Cadmium 0,03	Arsenic 0,20	Mercury 0,02	Copper 5,0	Zinc 10,0	
Varieties grown in Ukraine								
Boltex	skin	0,018	0,0009	0,0008	0,00016	0,19	0,42	62
	pith	0,014	0,0003	0,0005	0,00012	0,16	0,54	57
Lagoon	skin	0,015	0,0008	0,0011	0,00017	0,22	0,61	68
	pith	0,011	0,0010	0,0009	0,00018	0,19	0,43	59
Nantes	skin	0,017	0,0009	0,0010	0,00014	0,18	0,47	65
	pith	0,014	0,0004	0,0008	0,00012	0,17	0,42	63
Varieties grown in China								
Jingbian Carrots (靖边胡萝卜)	skin	0,022	0,0014	0,0013	0,00020	0,22	0,55	63
	pith	0,021	0,0012	0,0011	0,00018	0,21	0,49	60
Jinghong five inch Carrots (京红五寸胡萝卜)	skin	0,024	0,0014	0,0011	0,00019	0,23	0,56	66
	pith	0,019	0,0011	0,0012	0,00018	0,21	0,48	68
Hongxin No. 6 (红芯六号)	skin	0,026	0,0015	0,0012	0,00020	0,23	0,50	70
	pith	0,024	0,0011	0,0010	0,00018	0,21	0,49	69

In parallel, the specific activity of radionuclides - cesium - was studied ^{137}Cs, Bq/kg and strontium ^{90}Sr, Bq/kg in carrots, table 2. Carrots grown in

Ukraine and China were selected for the study. The sample was taken from a mixture of varieties.

To determine the compliance of carrots with the criteria of radiation safety, the indicator of compliance is used, the values of which were calculated from the results of measurements of specific activities ^{137}Cs, and ^{90}Sr, formula (1):

Table 2

The content of radionuclides in carrots (n=3, P≥0,95)

Name of the value Name of raw materials	Specific activity ^{137}Cs, Bq/kg	Specific activity ^{90}Sr, Bq/kg	Conformity indicator B, from units	Error delta B, from units
	The result of measurements		The result of calculations	
Carrots grown in Ukraine	16,3±3,3	5,6±2,1	0,68	0,14
Carrots grown in China	19,3±4,1	7,8±2,0	0,85	0,16
Permissible levels and conditions according to regulations	40	20	≤1	≤0,4

$$B = \frac{A_{cs}}{DR_{cs}} + \frac{A_{sr}}{DR_{sr}} \quad (1)$$

where:

B - compliance indicator

A cs – results of measurements of specific activities ^{137}Cs;

A sr – results of measurements of specific activities ^{90}Sr;

DR cs – standards for radionuclide content ^{137}Cs;

DR sr – standards for radionuclide content ^{90}Sr;

The values of the absolute error in determining the indicator B were calculated according to the established formula (2):

$$\text{delta B} = K_r\sqrt{\left(\frac{\text{delta Acr}}{\text{DR sr}}\right)^2 + \left(\frac{\text{delta Asr}}{\text{DR sr}}\right)^2} \quad (2)$$

where:

delta B - absolute error in determining the compliance indicator;

Kp - coefficient that depends on the accepted confidence factor, which depends on the accepted confidence probability and the law of distribution of random variables Acs та Asr (for a confidence level of 0.95 and an unknown distribution law Kp = 1,1);

delta Acr is the absolute error of specific activity measurements ^{137}Cs;

delta Asr is the absolute error of specific activity measurements ^{90}Sr;

DR cs – standards for radionuclide content ^{137}Cs;

DR sr – standards for radionuclide content ^{90}Sr;

Research of raw materials for suitability for use for their intended purpose, calculated by mathematical expression (3):

$$B + 0{,}6\, delta \cdot\ delta\, B \qquad (3)$$

where 0.6 is the coefficient calculated for the reliability of the control, characterized by a confidence level of 0.95.

As a result of calculating the results, it was found that the conversion factor in carrots grown in Ukraine is 0.76, in carrots grown in China is 0.96. These coefficients are less than the established indicator 1, which makes it possible to assume that carrots grown in both countries are suitable for consumption and use for the production of products. To study the safety of pears, table. 3, used varieties that are also traditionally grown in Ukraine and China.

Table 3

Content of nitrates and toxic elements in pears (n=3, P≥0,95)

Variety name		The norm is not more than mg / kg						
		Toxic elements						Nitratesmg NO^{-3} /кg 60,0
		Lead 0,10	Cadmium 0,03	Arsenic 0,20	Mercury 0,02	Copper 5,0	Zinc 10,0	
Varieties grown in Ukraine								
Maria	skin	0,011	0,0007	0,0009	0,00014	0,17	0,39	31
	pith	0,010	0,0004	0,0007	0,00011	0,14	0,44	29
Varieties grown in Ukraine								
Maria	skin	0,011	0,0007	0,0009	0,00014	0,17	0,39	31
	pith	0,010	0,0004	0,0007	0,00011	0,14	0,44	29
Nick	skin	0,012	0,0009	0,0013	0,00016	0,19	0,53	38
	pith	0,009	0,0009	0,0011	0,00015	0,16	0,38	30
Cathedral	skin	0,014	0,0008	0,0014	0,00015	0,18	0,51	35
	pith	0,011	0,0007	0,0011	0,00015	0,15	0,49	33
Varieties grown in China								
Snowflake Pear 雪花梨	skin	0,013	0,0009	0,0011	0,00016	0,18	0,41	33
	pith	0,012	0,0007	0,0009	0,00012	0,16	0,45	30
Jing Bai Pear 京白梨	skin	0,012	0,0011	0,0011	0,00017	0,21	0,56	39
	pith	0,011	0,0010	0,0011	0,00017	0,19	0,52	37
Donggu o Pear 冬果梨	skin	0,015	0,0009	0,0015	0,00016	0,19	0,53	37
	pith	0,013	0,0009	0,0012	0,00014	0,17	0,50	37

Toxic elements and nitrates are in the same range, but the results of studies of pear varieties grown in China are not much higher. In general, the safety indicators of pears meet the established requirements.

In the study of the specific activity of radionuclides - cesium ^{137}Cs, Bq / kg and strontium ^{90}Sr, Bq / kg in pears, table. 4, similarly selected varieties that were studied previously.

Table 4

The content of radionuclides in pears (n=3, P≥0,95)

Name of the value Name of raw materials	Specific activity ^{137}Cs, Bq/kg	Specific activity ^{90}Sr, Bq/kg	Conformity indicator B, from units	Error delta B, from units
	The result of measurements		The result of calculations	
Pears grown in Ukraine	11,8±4,1	3,8±2,2	0,55	0,25
Pears grown in China	14,2±3,9	5,1±2,0	0,71	0,30
Permissible levels and conditions according to regulations	70	10	≤1	≤0,4

Pears were not divided into varieties, samples were taken from a mixture of varieties grown in Ukraine and China.

Using the formulas (1-3) the calculation of the obtained results was performed.

It is established that the conversion factor in pears grown in Ukraine is 0.29 and 0.30 in pears grown in China

The coefficients given are less than the established figure, which makes it possible to assume that pears grown in both countries are suitable for consumption and use for food production.

Mango fruits were examined for the content of toxic elements and nitrates table. 5, varieties grown in China were used for testing.

Table 5

Content of nitrates and toxic elements in mango (n=3, P≥0,95)

Variety name		The norm is not more than mg / kg						
		Toxic elements						Nitrates mg NO^{-3}/кg 60,0
		Lead 0,10	Cadmium 0,03	Arsenic 0,20	Mercury 0,02	Copper 5,0	Zinc 10,0	
Tainung No.1 (台农一号)	skin	0,014	0,0010	0,0010	0,00011	0,24	0,37	32
	pith	0,014	0,0010	0,0010	0,00011	0,24	0,37	32
Mangifera indica Linn. (金煌芒)	skin	0,012	0,0008	0,0010	0,00011	0,22	0,39	28
	pith	0,012	0,0008	0,0010	0,00011	0,22	0,39	28
Mango variety Tianyangxiangmang (田阳芒)	skin	0,012	0,0011	0,0009	0,00013	0,22	0,38	31
	pith	0,012	0,0011	0,0009	0,00013	0,22	0,38	30

According to research, it is possible to say that mango fruits are environmentally friendly. At the same time, it is noted that the low concentration of toxic elements and nitrates is distributed in the fruit evenly in the skin and flesh.

The results of studies of the specific activity of radionuclides - cesium ^{137}Cs, Bq/kg and strontium ^{90}Sr, Bq/kg in mango fruit, presented in table 6

Table 6

The content of radionuclides in mangoes (n=3, P≥0,95)

Name of the value Name of raw materials	Specific activity ^{137}Cs, Bq/kg	Specific activity ^{90}Sr, Bq/kg	Conformity indicator B, from units	Error delta B, from units
	The result of measurements		The result of calculations	
Mango is grown in China	10,6±4,4	3,9±2,1	0,54	0,24
Permissible levels and conditions according to regulations	70	10	≤1	≤0,4

The calculation of the obtained results was performed using formulas (1-3). It was found that the conversion factor in mango is 0.27, this ratio is less than the established figure, which allows us to believe that the fruit is suitable for consumption and use for food production.

In the study of medicinal plants for compliance with safety indicators, table. 7, it is recommended to use the maximum allowable levels - safety criteria used in the pharmaceutical industry [7-10]. Licorice Glycyrrhíza glábra was used for research, which is traditionally grown in Ukraine and China and the medicinal plant Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge) (黄芪), which is traditionally grown in China.

Table 7

Indicators of safety of root medicinal plants (n=3, P≥0,95)

Name medicinal plants	The norm is not more than mg / kg						
	Toxic elements						Nitrate smg NO_3^- /кg 250,0
	Lead 6,0	Cadmium 1,0	Arsenic 0,5	Mercury 0,1	Copper not standardized	Zinc not standardized	
Licorice Glycyrrhíza glábra, Ukraine	0,026	0,0019	0,0017	0,00023	0,25	0,61	38
Licorice Glycyrrhíza glábra, China	0,028	0,0022	0,0027	0,00029	0,27	0,68	42
Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge)(黄芪), China	0,026	0,0023	0,0026	0,00031	0,29	0,67	41

The content of toxic elements - copper, zinc, according to current regulations is not standardized in this type of raw material. However, it was decided to investigate these indicators due to the fact that they are normalized and controlled in the finished product for children. Indicators of safety root

of medicinal plants are within the established norm. The content of radionuclides are given in table. 8.

Table 8

The content of radionuclides in the roots of medicinal plants (n=3, P≥0,95)

Name of the value Name of raw materials	Specific activity ^{137}Cs, Bq/kg	Specific activity ^{90}Sr, Bq/kg	Conformity indicator B, from units	Error delta B, from units
	The result of measurements		The result of calculations	
Licorice Glycyrrhíza glábra, Ukraine	26,4±8,3	11,5±6,4	0,25	0,083
Licorice Glycyrrhíza glábra, China	31,5±9,1	16,8±7,5	0,33	0,092
Name of the value Name of raw materials	Specific activity ^{137}Cs, Bq/kg	Specific activity ^{90}Sr, Bq/kg	Conformity indicator B, from units	Error delta B, from units
	The result of measurements		The result of calculations	
Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge)(黄芪), China	29,1±8,7	14,7±6,9	0,29	0,089
Acceptable levels	200	100	≤1	≤0,4

The conversion factors performed according to formulas (1-3) are 0.29, in the roots of the medicinal plant Licorice Glycyrrhíza glábra, which is grown in Ukraine and 0.38, which is grown in China. In the roots of the medicinal plant Astragalus membranaceus (Fisch.) Bunge (黄芪), this coefficient is 0.34. The calculated coefficients are less than the established permissible values, which makes it possible to assume that the roots of medicinal plants are suitable as raw materials for food production.

In general, studies show that the content of nitrates and toxic elements in fruits and vegetables does not accumulate evenly. Nitrates and toxic elements accumulate in pears from about 6.9% to 14.3% less than in carrots. It has been found that the accumulation of nitrates and toxic elements in the skin is higher than in the flesh, both in carrots grown in Ukraine by an average of about 5.5% and 2.5% in carrots grown in China. On average, in pears grown in Ukraine, toxic elements and nitrates in the skin are more than in the flesh by about 11.5%, in pears grown in China by 4.5%, respectively. In mangoes the accumulation proceeds approximately evenly. The roots of medicinal plants were studied in general. When comparing safety indicators, it was found that in carrots grown in Ukraine, these figures are lower by about 11.5 - 15.0% than in carrots grown in China, a similar situation with the safety indicators of pears, they are also lower by 5, 7 - 14.5 percent.

As a result of research, it was found that fruit and vegetable raw materials and roots of medicinal plants that are tested, meet the established requirements for safety indicators can be used as raw materials for the production of baby food, functional purposes.

Given the fact that we have tested raw materials of plant origin and medicinal plants that are traditionally grown in Ukraine and China, the only safety indicators will be introduced for raw materials that can be used for the production of therapeutic and prophylactic products for children.

References

1. On baby food: Law of Ukraine of 14.09.2006 № 142-V; as of 01.01.2021 URL: https://zakon.rada.gov. ua/laws/show/142-16#Text .

2. Food standarts Agency, official website. URL: https://www.food.gov.uk

3. DSTU ISO 874-2002 Fresh fruits and vegetables. Sampling (ISO 874: 1980, IDT).: Valid from 2003-10-01. Kyiv: Derzhspozhyvstan-dart of Ukraine, 2004. 10 p. (National standards of Ukraine).

4. Mazurenko IK, Yunbo Li, Shao Zhengzheng, Melnik OY, Palvashova AI Raw materials of plant origin for the production of baby food, functional purposes. Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies Volume 84 № 2 (2020): P. 38-48. URL: https: // journals. onaft.edu.ua/index. php / swonaft / article / view / 1888/2088

5. Mazurenko I., Li Yunbo, Shao Zhengzheng Technological aspects of vegetablea and fruit for of functional products of baby nutrition, longterm storage [Text] / Collec. of scient. works Dmytro Motorny Tavriya State Agrotechnological University, Ukraine

6. Order of the Ministry of Health of Ukraine dated 13.05.2013 № 368 "On approval of State hygienic rules and regulations" Regulations on maximum levels of certain contaminants in food " URL: https: //zakon.rada. Gov.ua / laws / show / z0774-13 # Text

7. Medicinal plants and phytotherapy (phytotherapeutic recipe): textbook. way. / LV Benzel, RE Darmogray, PV Oliynyk, IL Benzel. K.: VSV «Medicine», 2010. 400 p

8. GN 6.6.1.1-130–2006 Permissible levels of 137Cs and 90Sr radionuclides in food and drinking water. State hygienic standards [Electronic resource] // Government portal. The only web portal of the executive authorities of Ukraine. URL: http://www.moz.gov.ua.

9. MU 5779–91 Methodical instructions. Cesium-137. Definition in food products approved by the Ministry of Health of the USSR from 04.01.91, № 5779 // Government portal. The only web portal of the executive authorities of Ukraine. URL: http://www.moz.gov.ua

10. Codex Alimentarius Organic food products [Text] / Translated. with English; FAO, WHO. M.: Publishing House "World", 2006. 72 p.

Стаття надійшла до редакції 8.12.2021 р.

Ігор Мазуренко[1] , Zhengzheng Shao[2], Yangui Xie [1]
[1]Хунаньский університет гуманітарних наук і технологій, Хунань, Китай
[2] Школа харчових наук, Хенанський Інститут науки і техніки, Сіньсян, Китай

РОСЛИННА СИРОВИНА ТА ЛІКАРСЬКІ РОСЛИНИ ДЛЯ ПРОДУКТІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ХАРЧУВАННЯ ДІТЕЙ, ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕЧНОСТІ

Анотація

Харчування є одним з найважливіших чинників, які впливають на здоров'я населення. Питання здорового харчування населення є одним з найголовніших у реалізації соціальної політики держави. Успішне розв'язання проблеми залежить від створення умов для виготовлення якісних і безпечних продуктів харчування.

Безпечність харчового продукту, це стан харчового продукту, що є результатом діяльності з виробництва та обігу, який здійснюється з дотриманням вимог, встановлених санітарними заходами та або технічними регламентами, та забезпечує впевненість у тому, що харчовий продукт не завдає шкоди здоров'ю людини, якщо він спожитий за призначенням.

Питання безпечності та якості продуктів дитячого та загального харчування набуло великої важливості в міжнародній торгівлі. Широке застосування хімічних засобів захисту рослин, синтетичних мінеральних добрів у сільському господарстві, призводять до перевищення гранично допустимих концентрацій хімічних речовин в атмосфері, ґрунті та воді, а через них і в сировині та продуктах харчування. Вживання таких продуктів знижує резистентність організму людей, особливо дітей, призводить до тяжких захворювань, які посилюються з накопиченням в організмі токсичних речовин різної хімічної природи: нітратів, мікотоксинів, пестицидів, важких металів, радіонуклідів.

У статті наведені результати досліджень показників безпечності сировини рослинного походження, яка вирощується в Україні та Китаї, а також екзотичних фруктів, які є традиційними в країнах Азії. Результати досліджень дозволять запропонувати єдині показники безпечності до сировини, яку традиційно вирощують в Україні та Китаї, та можливо використовувати при виробництві продуктів для дітей загального та лікувально-профілактичного призначення. Єдині показники безпечності будуть враховані при фундаментальних дослідженнях та прикладних розробленнях параметрів термічного оброблення сировини.

Ключові слова: дитяче функціональне харчування, сировина рослинного походження показники безпечності, лікарські рослини.

Игорь Мазуренко[1], Zhengzheng Shao[2], Yangui Xie [1]
[1] Хунаньский университет гуманитарных наук и технологий Хунань, Китай
[2] Школа пищевых наук, Хэнаньский Институт науки и техники, Синьсян, Китай

РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЕ И ЛЕКАРСТВЕННЫЕ РАСТЕНИЯ, ДЛЯ ПРОДУКТОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ДЕТЕЙ, ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ

Аннотация

Безопасность и качество продуктов питания общего, детского, а так же лечебно-профилактического назначения, является одним из актуальных вопросов в международной и внутренней торговле. Широкое применение химических средств

защиты растений, синтетических минеральных удобрений в сельском хозяйстве приводят к превышению предельно допустимых концентраций химических веществ в атмосфере, почве и воде, а через них в сырье и продуктах питания.

В статье приведены результаты исследований показателей безопасности сырья растительного происхождения, которое выращивается в Украине и Китае, а также экзотических фруктов, традиционных в странах Азии. Результаты исследований позволят внедрить единые показатели безопасности к сырью, которое традиционно выращивают в Украине и Китае, и которое возможно использовать при производстве продуктов для детей общего и лечебно-профилактического назначения. Единые показатели безопасности будут учтены при фундаментальных исследованиях и прикладных разработках параметров термической обработки сырья.

Ключевые слова: детское функциональное питание, лекарственные растения, показатели безопасности, сырье растительного происхождения.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-33

УДК 697.385

О. А. Климчук[1], д.т.н. ORCID: 0000-0002-5207-7259
Г. В. Лужанська[1], к.т.н. ORCID: 0000-0002-3784-5926
В. В. Кандєєва [1], к.е.н. ORCID: 0000-0002-8707-0700
І. В. Аксьонова [2], к.т.н. ORCID: 0000-0002-3210-3405
І. В. Борохов [3], к.т.н. ORCID: 0000-0003-3894-5256

[1]*Державний університет «Одеська політехніка»*
[2]*Одеська державна академія будівництва та архітектури*
[3]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
Тел. (048)705-8-403

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ТЕПЛОМАСООБМІННИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОМБІНОВАНОГО ОПАЛЕННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

Анотація. Актуальною проблемою сучасної економіки України в умовах економічної кризи є раціональне використання паливно-енергетичних ресурсів нашої країни. Одним з шляхів вирішення цієї задачі є акумулювання енергії. Згідно з напрямком Енергетичної стратегії держави на період до 2030 р, все більшої актуальності набувають розробка та впровадження комбінованих високоефективних систем низькотемпературного опалення на основі альтернативних джерел енергії з використанням тепло акумуляторів.

Розглянуті питання щодо сумісного ефективного використання найбільш розповсюджених комбінаціях сумісного використання різних генераторів теплоти у запропонованих системах.

Виконано дослідження існуючих схем роботи акумуляторів по різним типам приєднання теплоносія. В результаті отримано, що застосування перехресної схеми приєднання теплообмінної установки в системі комбінованого низькотемпературного опалення дозволяє домогтися максимально ефекту.

Ключові слова: теплові акумулятори, комбінована система низькотемпературного опалення, тепловий насос.

Постановка проблеми. Нестача енергетичних ресурсів є актуальною проблемою України, тому їх раціональне використання –

© О. А. Климчук, Г. В. Лужанська, В. В. Кандєєва, І. В. Аксьонова, І. В. Борохов

одна з основних задач економіки. Частковим рішенням цієї проблеми є акумулювання енергії. У відповідності до вимог Енергетичної стратегії України на період до 2030 р., розробленої Міністерством енергетики та вугільної промисловості України, все більшої актуальності набувають розробка та впровадження комбінованих високоефективних теплонасосних систем низькотемпературного опалення на основі альтернативних джерел енергії [1-3].

Аналіз останніх досліджень. Комбіновані теплонасосні системи орієнтовані на використання низькотемпературних систем опалення – водяного радіаторного опалення, водяних «теплих підлог», настінних та теплообмінників, вмонтованих в будівельні конструкції. Такі опалювальні прилади характеризуються невисокою робочою температурою теплоносія, але при цьому, мають розвинену площу. Основний механізм передачі теплоти – вільна конвекція повітря уздовж теплообмінної поверхні з поступовим перемішуванням його в об'ємі приміщення.

Важливим кроком при розробці комбінованої теплонасосної системи опалення є вибір типу теплового насоса та ємність теплового акумулятора.

Для інтенсифікації процесу впровадження інноваційних енерготехнологій необхідно підвищити їх рентабельність шляхом суттєвого збільшення частки заміщення традиційних первинних енергоресурсів альтернативними джерелами енергії.

Впровадження інтегрованих систем автономного теплозабезпечення, що працюють в режимі переривчастого опалення з раціональним використанням енергетичного потенціалу альтернативних джерел енергії; містять акумулятори теплоти, з можливістю накопичення енергії за нічним тарифом; та дублери енергії з високою часткою заміщення традиційних первинних енергоресурсів альтернативним паливом є виправданим, бо дозволяє узгодити графіки генерації й споживання енергії з урахуванням екологічних вимог. При цьому, врахування режимів експлуатації та ступенів термомодернізації будівлі (комбінованої теплової ізоляції стін будинку та приміщень [4]), надає додаткові переваги – призводить до оптимальної організації режиму енергозабезпечення за критерієм максимальної частки заміщення традиційних первинних енергоресурсів.

Формування цілей. Метою роботи є науково-технічне обґрунтування умов ефективного впровадження альтернативних джерел енергії з максимально ефективним використанням акумуляторів теплоти.

Основна частина. В комбінованих системах зазвичай застосовується два чи більше генератора теплоти. Тривалість та ефективність функціонування кожного із зазначених джерел залежить

від умов експлуатації системи, а саме, від зовнішніх (кліматичних умов) і внутрішніх факторів (постійне опалення, переривчасте опалення, денний тариф, нічний тариф на електроенергію тощо) [1, 3].

Найбільшого розповсюдження таки системи досягли у приватних, котеджах та готелях, де використовуються такі джерела генерації теплоти: газові та твердопаливні котли (котли на рідкому паливі); електричні котли та системи електричного опалювання; теплові насоси; геліосистеми [5-8]. При цьому котли, що використовують тверде паливо для надійної та економічної роботи потребують встановлення спеціальних тепломасообмінних пристроїв - буферних ємностей (акумуляторів тепла) [9].

Режими використання різних альтернативних джерел теплоти у низькотемпературних системах опалення залежать від технічних характеристик обладнання. Теплові насоси із відбором теплоти з зовнішнього повітря доцільно використовувати при температурах не нижче – 5 °С [6, 10]. Електричні котли в системах із акумулюванням доцільно застосовувати при використанні нічного тарифу на електроенергію.

При використанні геліосистеми постає питання, на яку частку заміщення традиційної енергії необхідно орієнтуватись, для більш ефективного використання сонячної енергії. Досвід показує, що у геліосистем, які розраховані з пріоритетом забезпечення опалення, влітку виникає проблема із надлишком теплоти. Це призводить до зменшення ефективності сонячних колекторів, якщо не передбачити додатково наявність сезонних споживачів, наприклад, відкриті басейни, куди можна скидати надлишок теплоти з сонячного колектора на підігрів води в них, що суттєво збільшує термін корисного використання геліосистеми впродовж року [11].

Важливою проблемою є вирішення питань щодо сумісного ефективного використання найбільш розповсюджених комбінаціях сумісного використання різних генераторів теплоти (традиційних і альтернативних) [12] в комбінованій системі.

На практиці для узгодження цих режимів роботи системи застосовують зазвичай три інструментарії [13]:

- модуляція потужності джерела теплоти;
- збільшення інерційності системи споживачів теплоти;
- застосування тепломасообмінних установок - акумуляторів тепла.

До числа найбільш простих і надійних пристроїв акумулювання тепла, безумовно, належать рідинні тепло-акумулюючи матеріали, що пов'язано з поєднанням функцій теплоакумулюючого матеріалу та теплоносія. В даний час найбільш широко застосовуються вода і водні

розчини солей, високотемпературні органічні та кремнійорганічні теплоносії, розплави солей і металів.

Використання води в якості теплоакумулюючого матеріалу може бути доречно для добового та пікового режиму акумулювання в системах низькотемпературного опалення [14, 15].

Існує кілька схем роботи акумуляторів за різними типами приєднання теплоносія:

- паралельна схема руху потоків теплоносіїв;
- перехресна схема руху потоків теплоносіїв;
- сумісна схема руху потоків теплоносіїв.

Системи опалення змінює навантаження впродовж року. При цьому впродовж доби суттєві коливання спостерігаються лише при використанні двоперіодного режиму обігріву приміщень. Окремо треба сказати про використанні системи «тепла підлога» у значних масштабах обігріву приміщень. В таких випадках гідравлічний режим системи опалення не співпадає з гідравлічним режимом джерела тепла (різні перепади температур, внаслідок різні витрати). Для узгодження режимів роботи необхідно встановлювати гідравлічний розподілювач або буферну ємність. Також треба звернути увагу, якщо систем «тепла підлога» має переважний внесок у систему опалення, то виникає проблема не можливості ввійти газовому конденсаційному котлу у конденсаційний режим, а тепловому насосу забезпечити необхідні температури у подавальній магістралі системи «тепла підлога» (теплообмінник котлу та теплового насосу не здатен пропустити необхідну витрату теплоносія з необхідною температурою). В таких випадках слід встановлювати як мінімум два котли.

Для моделювання процесів в акумуляторах теплоти при різних схемах підключення джерела та споживача теплоти був використаний прикладний програмний продукт SolidWorks, що відноситься до САПР – систем автоматизації проектних робіт.

Для знаходження чисельного рішення задачі безперервна нестаціонарная математична модель фізичних процесів, що використовується в SolidWorks діскретізіруется як у просторі, так і за часом [16]. Для дискретизації диференціальних рівнянь в SolidWorks використовується метод кінцевих об’ємів [17].

Як і в більшості розрахункових методів, у методі кінцевих об’ємів використовується підхід Ейлера, тобто розглядається рух у виділеній області простору, на відміну від підходу Лагранжа, за яким розглядається рух виділеної області (маси) текучого середовища в просторі (цей підхід зазвичай використовується для розрахунку руху сторонніх часток в текучому середовищі). Якщо задача нестаціонарна, то відповідно розглядається також еволюція (тобто зміна в часі) течії в виділеної області простору [18].

Математична задача вирішення системи диференціальних та/або інтегральних рівнянь зводиться до математичної задачі розв'язання системи алгебраїчних (зазвичай нелінійних) рівнянь.

Отже інтегральне рівняння:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_V U dv + \oint_S F ds = \int_V Q dv \qquad (1)$$

де U – вектор фізичних параметрів (незалежних змінних);

V – об'єм комірки;

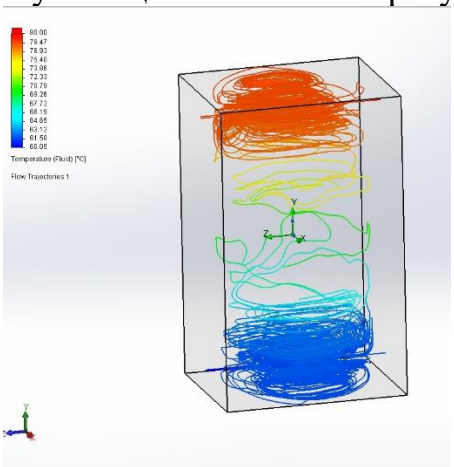
F – потоки;

S – площа поверхні (граней) осередки;

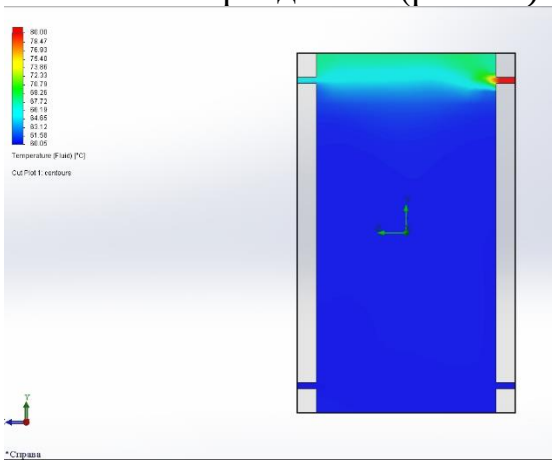
Q – масові сили, перетворяться до дискретної форми:

$$\frac{\partial}{\partial t}(U \cdot V) + \sum_s F \cdot s = Q \cdot V \qquad (2)$$

Потоки F розраховуються з використанням їх апроксимації вперед другого порядку точності, заснованої на модифікованих неявних QUICK-апроксимація Леонарда і методі мінімізації повної варіації TVD. Спеціальні апроксимації застосовуються для конвективних членів, операторів div та grad. У часткових, тобто пересічених поверхнею твердого тіла на кордоні з текучої середовищем, розрахункових осередках вводяться додаткові внутрішні грані, апроксимуючі потрапила в ці клітинки поверхню твердого тіла, і використовується спеціальна процедура для розрахунку умов на цих гранях. За допомогою пакету програми Flow Simulation на основі програмного забезпечення «SolidWorks» були отримані результати чисельного моделювання теплових процесів в акумуляторі теплоти із візуалізацією поля температур для вказаних схем приєднання (рис 1-3)

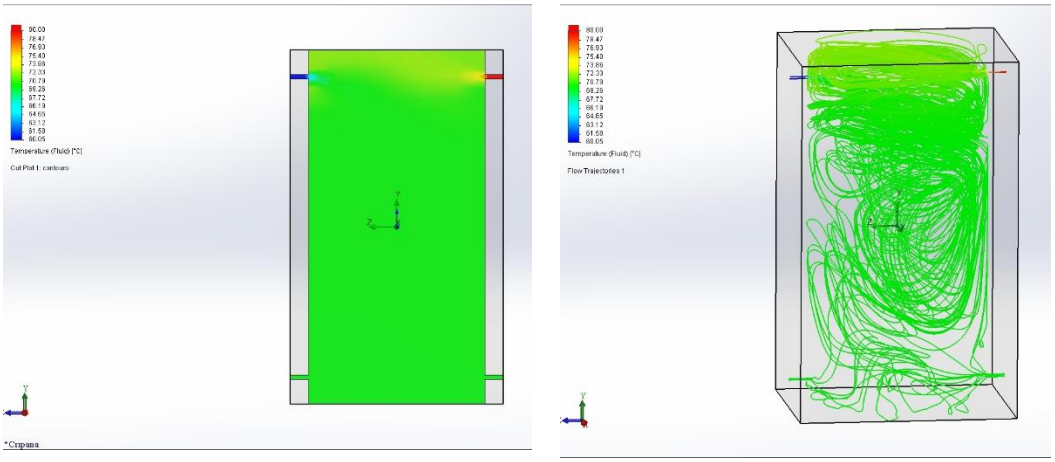


а) розподіл температур в баку акумулятора теплоти наприкінці процесу розрядки.



б) рух теплоносіїв в баку акумулятора теплоти наприкінці процесу зарядки.

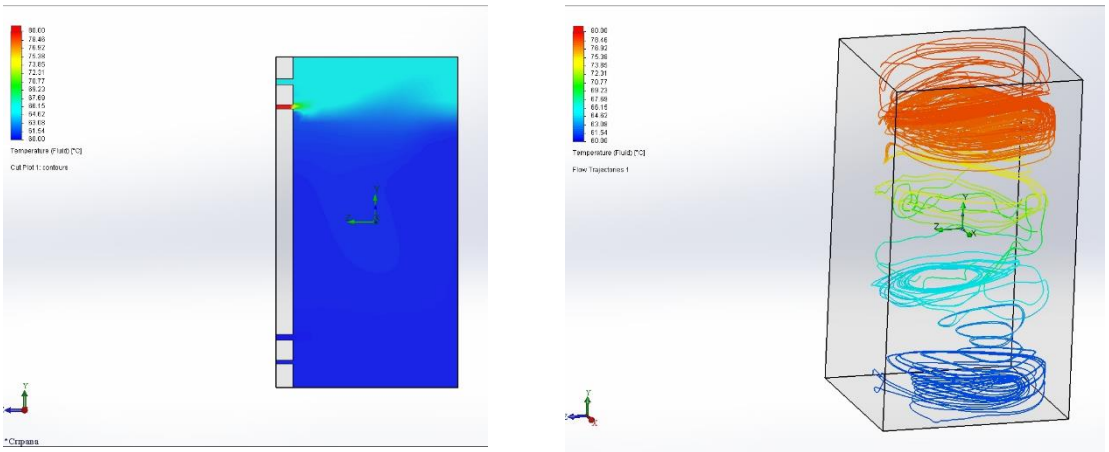
Рисунок 1. Розподіл температур в баку акумулятора теплоти при паралельній схемі підключення



а) розподіл температур в баку акумулятора теплоти наприкінці процесу зарядки

б) рух теплоносіїв в баку акумулятора наприкінці процесу зарядки

Рисунок 2. Розподіл температур в баку акумулятора теплоти при перехресній схемі підключення



а) розподіл температур в баку акумулятора теплоти наприкінці процесу розрядці

б) рух теплоносіїв в баку акумулятора процесу зарядки

Рисунок 3. Розподіл температур в баку акумулятора теплоти при сумісній схемі підключення

В схемі із перехресним приєднанням теплоносіїв відбувається більш рівномірний розподіл температур в акумулюючому середовищі та більш тривалий процес зарадки акумулятора. При цьому слід відмітити більш прискорений процес зарядки акумулятора при паралельній схемі підключення теплоносіїв до акумулятора теплоти.

Висновки

1. Враховуючі наведені обставини можна зробити висновок, що для узгодження роботи системи низькотемпературного опалення та споживачів рекомендовано встановлення тепломасообмінних установок, а саме акумуляторів тепла або буферних ємностей.

Виходячи із техніко-економічних обставин рекомендовано використовувати комбіновані системи низькотемпературного опалення з використанням альтернативних джерел тепла.

Слід зауважити, що ефективність роботи системи низькотемпературного опалення залежить від схем приєднання генераторів та споживачів теплоти до акумуляторів та повноти використання об'єму тепло-акумулюючого матеріалу. Для вирішення вказаного питання було проведене дослідження повноти використання теплоакумулюючого матеріалу при різних схемах приєднання споживачів та генераторів теплоти до акумуляторів

2. Аналіз результатів чисельного моделювання поля температур в тепломасообмінній установці при традиційних схемах приєднання теплоносіїв, коли подавальна магістраль приєднується до верхнього штуцера бака–акумулятора, показує менш ефективне використання об'єму акумулюючого матеріалу – синій колір відповідає незадіяному об'єму акумулюючого матеріалу. При перехресній схемі приєднання джерела та споживача теплоти – подавальна магістраль приєднується до нижнього штуцера бака–акумулятора, дозволяє досягти більш рівномірного використання об'єму теплоакумулюючого матеріалу, але при цьому зменшується максимальна температура в акумуляторі.

Застосування нижнього підключення подавальної магістралі дозволяє досягти більш інтенсивного перемішування тепло-акумулюючого матеріалу в акумуляторі, що, в свою чергу, впливає на рівномірний розподіл температур – співпадають напрями вільної та примусової конвекції, на відміну від варіанту з верхнім підключенням подавальної магістралі, коли відбувається розподіл температур рідини пошарово.

Список використаних джерел

1. Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки: Закон Украины від 11 липня 2001 р. № 2623-III. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2623-14 (дата звернення: 10.10.2021).

2. Про енергозбереження: Закон України від 1 липня 1994 р. №74/94. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/74/94 (дата звернення: 10.10.2021).

3. Енергетична стратегія України на період до 2035 року. Біла книга енергетичної політики України «Безпека та конкурентоспроможність». Київ, 2015. 49 с.

4. Мацевитый Ю. М., Ганжа Н. Г., Хименко А. В. Оценка энергетической эффективности систем теплоаккумуляционного отопления административных зданий. *Энергосбережение, энергетика, аудит.* 2011 № 10. С. 9-16.

5. Денисова А. Е., Драганов Б. Х., Сироватка М. А., Герасимчук С. А. Комплексна геліоакумуляційна і теплонасосна система теплопостачання в комунально-побутовому секторі. *Відновлювана енергетика*. 2012. № 2. С. 16-18.

6. Климчук О. А., Титар С. С., Шевчук В. І., Димитров О. Д. Альтернативні системи теплопостачання житлових будівель із використанням теплових насосів та акумуляторів тепла. *Управління проектами: інновації, не лінійність, синергетика:* збірник праць V Міжн. наук.-прак. конф. Одеса: ОДАБА, 2014. Т. 2. С. 102-105.

7. Бондарь И. А., Денисова А. Е. Сравнительная оценка энергетической эффективности теплонасосных установок для систем теплоснабжения с теплым полом. *Строительство и техногенная безопасность*: сб. науч. трудов. Симферополь, 2014. Вып. 52. С. 80-85.

8. Алимгазин А. Ш., Петин Ю. М., Кислов А. П. Пути повышения энергетической эффективности теплонасосных технологий в Республике Казахстан. *Вестник ПГУ им. С. Торайгырова*. *Сер. Энергетика*. 2010. № 1. С. 28-42.

9. Сотникова О. А., Турбин В. С., Григорьев В. А. Аккумуляторы теплоты теплогенерирующих установок систем теплоснабжения. *Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика (АВОК).* 2003. № 5. С. 40–45.

10. Бабаев Б. Д. Сравнительные характеристики различных типов аккумуляторов тепла, перспективное направления разработок новых методов и устройств для аккумулирования тепловой энергии. *Актуальные проблемы освоения возобновляемых энергоресурсов*: материалы VI Школы молодых ученых им. Э. Э. Шпильрайна (г. Махачкала, 23–26 сентября 2013 г.). Махачкала, 2013. С. 125-137.

11. Мазуренко А. С., Климчук А. А., Юрковский С. Ю., Омеко Р. В. Development of the scheme of combined heating system using seasoncal storage of heat from solar plants. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 1, № 8 (73). P. 15-20. DOI:10.15587/1729-4061.2015.36902.

12. Ададуров Е. А. Повышение эффективности использования аккумуляторов теплоты с возобновляемыми источниками энергии: дис. ... канд. техн. наук: 05.14.08. Краснодар, 2004. 178 с.

13. Климчук О. А., Лужанська Г. В. Узгодження режимів генерації та споживання теплоти. *Сучасні проблеми інноваційного розвитку електричної інженерії*: матеріали II Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції (м. Мелітополь, 05-25 квітня 2021 р.) / ТДАТУ. Мелітополь, 2021. С. 49-50.

14. Соренсен Б. Преобразование, передача и аккумулирование энергии: Учебно-справочное руководство. Долгопрудный: Интеллект, 2011. 296 с.

15. Operation optimization of integrated energy systems based on heat storage characteristics of heating network / E. Pan et al. *Energy Science & Engineering*. 2021. Vol. 9, № 2. P. 223-238. DOI: 10.21203/rs.3.rs-37009/v1.

16. Лужанська Г. В., Іванова Л. В., Радченко М. В., Васильченко О. І. Особливості методів візуалізації енергетичних процесів. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я:* тези доповідей XXIX міжнародної науково-практичної конференції MicroCAD-2021 (м. Харків, 18-20 травня 2021 р.): у 5 ч. Ч. II. Харків: НТУ «ХПІ», 2021. С. 189.

17. Вдосконалення систем теплолокалізації на засадах енергозбереження / А. Є. Денисова та ін. *Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер.: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів*. Харків, 2020. № 6. С. 3–11. DOI: 10.20998/2220-4784.2020.06.01.

18. Methodology of calculation of multiplex heat exchang apparatus with cross flow and mixing in heat carriers / A. M. Ganzha et al. *Journal of new technologies in environmental science*. 2018. Vol. 2, № 1. P. 26–35.

Стаття надійшла до редакції 25.10.2021 р.

O. Klymchuk[1], A. Luzhanska[1], V. Kandieieva[1], I. Aksyonova[2], I. Borokhov[3]
[1]Odessa polytechnic state university
[2]Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
[3]Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

WAYS OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE OPERATION OF HEAT AND MASS EXCHANGE UNITS OF LOW TEMPERATURE COMBINED HEATING SYSTEMS WHEN USING ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Summary

The urgent problem of the modern economy of Ukraine in the conditions of the economic crisis is the rational use of the fuel and energy resources of our country. One of the ways to solve this problem is energy storage. According to the direction of the Energy Strategy of the state for the period up to 2030, the development and implementation of combined highly efficient heat pump systems for low-temperature heating based on alternative energy sources using heat accumulators are becoming increasingly important.

An important step in the design of a low temperature heating system is the selection of the type of heat pump and the capacity of the heat accumulator.

To intensify the process of introducing innovative energy technologies, it is necessary to increase their profitability by significantly increasing the share of replacing traditional primary energy resources with alternative energy sources.

The issues of joint effective use of the most common combinations of joint use of various heat generators in the proposed systems are considered.

There are several schemes for the operation of heat accumulators for various types of coolant connection: parallel, cross, joint.

In order to study the processes in heat exchange units of combined low-temperature heating systems with different schemes for connecting the source and consumer of heat, the SolidWorks software product was used. Using the Flow Simulation software package based on the SolidWorks software, the results of numerical modeling of thermal processes in the heat accumulator with visualization of the temperature field for the specified connection schemes were obtained

In the course of the studies carried out on the existing schemes for the operation of batteries for various types of connection of the coolant, it was found that the use of a cross connection scheme for a heat accumulator installation is the most effective in a combined low-temperature heating system.

Considering the above circumstances, it can be concluded that in order to harmonize the operation of the low-temperature heating system and consumers, it is recommended to install heat exchange units, namely heat accumulators or buffer tanks according to a cross-circuit connection of the coolant, while it is recommended to use combined low-temperature heating systems using alternative heat sources.

Key words: heat accumulators, combined low temperature heating system, heat pump

А. А. Климчук [1], А. В. Лужанская [1], В. В. Кандеева [1],
И. Н. Аксенова [2], И. В. Борохов [3]
[1]Государственный университет «Одесская политехника»
[2]Одесская государственная академия строительства и архитектуры
[3]Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ТЕПЛОМАССООБМЕННЫХ УСТАНОВОК СИСТЕМ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОМБИНОВАНОГО ОТОПЛЕНИЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ

Аннотация

Актуальной проблемой экономики Украины в условиях экономического кризиса является рациональное использование топливно-энергетических ресурсов. Одним из путей решения является аккумулирование энергии. Согласно направлению Энергетической стратегии все большую актуальность приобретают разработка и внедрение комбинированных высокоэффективных систем низкотемпературного отопления на основе альтернативных источников энергии с использованием тепло аккумуляторов.

Рассмотрены вопросы совместного эффективного использования наиболее распространенных комбинаций совместного использования различных генераторов теплоты в предложенных системах.

Выполнены исследования существующих схем работы аккумуляторов по различным типам присоединения теплоносителя. В результате получено, что применение перекрестной схемы присоединения теплообменной установки в системе комбинированного низкотемпературного отопления позволяет добиться максимально эффекта.

Ключевые слова: тепловые аккумуляторы, комбинированная система низкотемпературного отопления, тепловой насос.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-34

УДК [621.3.047.2:621.311.243]:631.365

В. М. Боярчук, к.т.н. ORCID: 0000-0001-8294-8759
С. В. Коробка, к.т.н. ORCID: 0000-0002-4717-509X
Р. Є. Кригуль, к.т.н. ORCID: 0000-0003-1295-4162
М. І. Бабич, к.т.н. ORCID: 0000-0002-3061-9176
І. Г. Стукалець, к.т.н. ORCID: 0000-0001-7107-4865
Львівський національний аграрний університет
e-mail: krroma@ukr.net

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ГЕЛІОТЕРМІЧНИХ УСТАНОВОК НА ПРИКЛАДІ ПОВІТРЯНОГО ГЕЛІОКОЛЕКТОРА

Анотація. Розроблено нову конструкцію повітряного сонячного геліоколектора для сонячної сушарки, що включає подвійне скління та селективну поверхню виготовлену із тонкого металу міді з вхідними та вихідними отворами на її основі. Встановлено, що для сприймаючої поверхні з подвійним склінням необхідно використовувати скло з тепловідбиваючим покриттям із твердого типу К-класу з коефіцієнтом випромінювання ε=0,1...0,15. Це дає можливість отримати максимально широкий спектр прямих сонячних променів, які опромінюють поверхню поглинаючої пластини та зменшують дифузійну складову випромінювання, що забезпечує збільшення ефективності сонячного колектора.

Ключові слова: сонячний тепловий повітряний геліоколектор, селективне покриття, повітряна сонячна система опалення.

Постановка проблеми. Плаский повітряний геліоколектор (ПГК) – це пристрій для збору сонячної енергії у видимому і інфрачервоному діапазоні та перетворені його в теплову енергію. Абсорбер – штучний матеріал, здатний до абсорбції (наприклад, мідний хвилястий лист покритий чорною селективною фарбою). Основна вимога до абсорберів, що використовуються в ПГК − це висока вбираюча здатність щодо компонента, який абсорбується, а саме сонячна енергія. Цінною якістю абсорберів є можливість регенерації, що здешевлює технологічний процес. Наприклад збирання сонячної енергії у видимому і інфрачервоному діапазоні та перетворені її в теплову енергію. У ряді випадків абсорбенти повинні забезпечувати

© В. М. Боярчук, С. В. Коробка, Р. Є. Кригуль, М. І. Бабич, І. Г. Стукалець

селективність абсорбції. Крім того, абсорбент повинен бути хімічно індиферентним щодо абсорбату та хімічно стабільним (не розщеплюватися, не окиснюватися, не осмолюватися тощо), дешевим та корозійнонеактивним.

Дослідження ефективності роботи пласких повітряних сонячних колекторів зводиться до знаходження напрямів на зменшення тепловтрат, збільшення теплопродуктивності, інтенсифікації теплообміну між абсорбером і теплоносієм. Також важливим є вибір найбільш продуктивної форми поверхні абсорбуючих пластин, що мають добрі енергетичні характеристики. Зокрема, збільшення теплопродуктивності, зменшення тепловтрат, малі витрати тиску на перенесення повітряних мас через колектор, не вимагають додаткових затрат енергії та коштів на виготовлення. У зв'язку з цим, тема досліджень, присвячена дослідженню ефективності роботи плаского сонячного повітряного геліоколектора з хвилястою поглинаючою поверхнею є актуальною.

Аналіз останніх досліджень. На сьогодні існує багато сонячних геліоколекторів, що випускаються промисловістю. Ці геліоколектори використовуються в основному для отримання низько потенційного теплоносія. Тому що існуючі їхні конструкції не дозволяють здійснити нагрів до більш високих температур, а саме 30 – 60 ºС. Серед встановлених сонячних колекторів в країнах Європи 92 % складають пласкі колектори, що мають ККД 50 – 60 %, і всього 8 % складають колектори на основі вакуумних труб.

В праці [1,5,6] проаналізовано роботу розробленої експериментальної конструкції геліоколектора та розраховано його тепловий баланс, ККД, визначено основні складові втрат енергії у навколишнє середовище та їхнє співвідношення на основі результатів серії досліджень установки в літній період у звичайному робочому режимі та в режимі стагнації. Однак в запропонованій методиці не приймались до уваги складові величини температурних діапазонів та різниці температур між паралельними поверхнями, а саме тильною поверхнею абсорбера та повітряного каналу.

У праці [2,7] розроблено новий повітряний колектор з абсорбером хвилястого типу, що працює виключно від сонячної енергії за принципом одночасної вентиляції приміщення та обігріву для субтропічних кліматичних умов м. Анкари (Туреччина). Підібрано селективне покриття для поглинальної поверхні абсорбера в основі якого є високі показники оптичних та експлуатаційних характеристик, а саме теплова потужність та енергетичний ККД запропонованого геліоколектора. Однак під час випробувань не бралося до уваги проникність ламінарного потоку на зменшення конвективної складової тепловтрат скляного покриття та поглинальної панелі (абсорбера). Це

не дозволяє розраховувати перехідні режими роботи колектора та теплопродуктивність.

У роботі [3,8] автори наводять методику контролю якості для сонячних колекторів, яка дасть змогу оптимізувати показники якості сонячних колекторів, а саме показники безпеки, продуктивності і ефективності та встановити ефективність їх роботи за коефіцієнтом корисної дії, що виражений як комплексний показник якості. Однак в запропонованій методиці не приймались до уваги складові конвективного і радіаційного теплообміну скляної поверхні.

Автори у роботі [4,9] проаналізували відомі методи розрахунку повітряних сонячних колекторів. Запропонували метод розрахунку системи сонячного теплопостачання із геліопанелями. Розробили алгоритм комп'ютерного розрахунку системи сонячного теплопостачання із геліопанелями із врахуванням впливу прямої та розсіяної сонячної радіації на ефективність геліопанелі. Однак, в запропонованій методиці не приймалась до уваги радіаційна складова коефіцієнта тепловіддачі від поглинаючої панелі до скляного покриття, яка розглядається під час розрахунку довгохвильового (теплового) випромінювання.

Розроблені методи підбору та розрахунку повітряного сонячного колектора виконано здебільш для країн зі спекотним кліматом, наприклад, для субтропічних кліматичних умов Туреччини, Ірану, Болгарії, Греції, Хорватії тощо. Більшість методик підбору та розрахунку теплотехнічних характеристик повітряного сонячного колектора здійснено за допомогою імітаційних моделей під час комп'ютерного моделювання. Наведені конструкції повітряних сонячних колекторів потребують модифікації та удосконалення з метою підвищення ефективності роботи в умовах помірного континентального клімату України та зменшення капітальних і експлуатаційних затрат. Таким чином, вирішальним аспектом для прийняття рішення під час використання повітряного сонячних колекторів в геліосушарці є обґрунтування його оптимальних конструктивно-технологічних параметрів.

Формулювання мети статті. Метою даного дослідження є підвищення ефективності використання сонячної енергії у геліосушарці на підставі розробки нової конструкції абсорбера з хвилястою поверхнею для повітряного геліоколектора, а також вдосконалення його методики розрахунку енергетичних характеристик.

Основна частина. Найпростішим є ПГК у вигляді коробки з теплоізольованими стінками, подвійним заскленням і селективною поверхнею на її днищі. За подвійного засклення мінімізується потік конвективних тепловтрат від поглинаючої поверхні через великий

коефіцієнт теплопереносу поперек турбулізованого потоку повітря. Режим ламінарного потоку зменшує конвективну складову тепловтрат, що допускає одношарове прозоре покриття. Проте одночасно зменшується й коефіцієнт тепловіддачі від поглинаючої панелі, що вимагає подовження контактного шляху для повнішого засвоєння поглинутої сонячної енергії. В іншому випадку підвищується температура поглинаючої поверхні і зростає радіаційна складова тепловтрат. Відтак, за даними дослідження [2,10], ККД колектора не може перевищувати 24 %. Вищу ефективність мають колектори, у яких потік теплоносія скеровується у щілину між тильною стороною сприймаючої поверхні і днищем колектора, що схематично відображено на рис. 1.

З метою збільшення ефективності тепловідводу від нагрітої панелі, повітряний потік потрібно турбулізувати вибором перерізу щілини, швидкості потоку або додатковими конструктивними елементами. Натомість у щілині під скляним покриттям слід передбачити відведення перегрітого повітря з її верхньої частини. Для цього достатньо зробити кілька вхідних отворів невеликого діаметру безпосередньо під покрівельним склом, а верхні вихідні отвори – біля поглинаючої панелі.

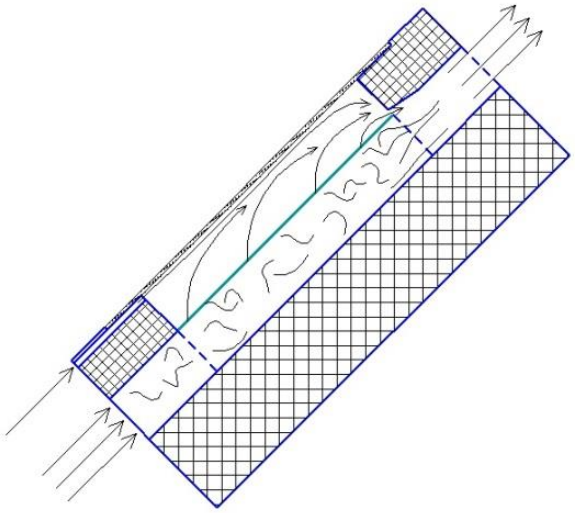


Рисунок 1. Схематична будова повітряного ГК

Якщо отвори сполучити з нижньою щілиною, то за рахунок підсмоктування створиться слабка тяга для ефективного вентилювання простору під скляним покриттям. При цьому виникаючі зародки вертикальних потоків будуть частково відсікатися дотичним до скляного покриття слабким ламінарним потоком свіжого атмосферного повітря. Таким чином відпадає необхідність подвійного засклення, а невелике зменшення температури вихідного потоку компенсується збільшенням теплопродуктивності колектора. За такого конструктивного виконання, принаймі, вирівнюється температурне

поле прозорого покриття, зменшується рівень конвективних та радіаційних складових тепловтрат. Завдяки такій конструкції характеристики повітряного колектора у певних межах можна регулювати ще й зміною нижнього та верхнього зазорів між скляним покриттям і корпусом. Довжину колектора також варто обмежувати значенням 1,5 м, інакше локальні хаотичні конвективні мікропотоки, за наявності тяги зливаються у суцільний стійкий потік вздовж прозорого покриття [3] з неминучим зростанням конвективних тепловтрат.

Передача тепла від сприймаючої поверхні до корисного потоку повітря відбувається через проміжний шар металевої підкладки з високим коефіцієнтом теплопровідності. Для підвищення ефективності тепловіддачі до тильного боку сприймаючої панелі прикріплюють додаткові опори у вигляді гнутих тонколистових мідних швелерів висотою 2–3 см. Опори підвищують жорсткість тонкого листа, що запобігає його коливанням при взаємодії з турбулізованим потоком повітря.

З метою зменшення крайових ефектів потік вхідного повітря попередньо турбулізується нагнітальним вентилятором. А при малих швидкостях турбулентний режим забезпечують поперечні вставки, між поздовжніми швелерними стійками та профільованою поверхнею днища колектора.

Якщо відношення довжини повітропроводу до його діаметра перевищує 10, то вклад крайових ефектів розвинутого турбулентного потоку несуттєвий і пов’язані з ним ефекти тепловіддачі можна не враховувати. При малих швидкостях потоку режим розвинутої турбулентності підтримується вдовж колектора за умови $L/2l>10$, де L – довжина каналу L, а $2l$ – його подвійна висота [2]. Для колектора довжиною 1 м висота каналу з турбулізованим потоком не повинна перевищувати 5 см. Сукупність перелічених конструктивних рішень сприяє підвищенню коефіцієнта тепловіддачі від металевої підкладки при зменшених швидкостях потоку, вихідної температури потоку і енергетичної ефективності колектора у цілому.

У повітряних геліоколекторах [3], при температурах близьких до кімнатної, потік радіаційних тепловтрат приблизно удвічі перевищує вільно конвективний, тому для його зменшення необхідно використовувати скло з тепло відбиваючим покриттям твердого типу (K-glass або К-скло). Перевагою цього покриття є висока механічна стійкість, що дозволяє використовувати їх на відкритих поверхнях, а недоліком – дещо вищий (за «м’яке» покриття) коефіцієнт випромінювання $\varepsilon=0,1…0,15$. За складом це оксиди металів, найчастіше олово леговане фтором. Але такі покриття доцільно наносити тільки на спеціальне скло з малим вмістом заліза, яке пропускає всередину значно більший потік сонячної енергії порівняно

з звичайним віконним склом, що видно з порівняння їх спектральних коефіцієнтів пропускання на рис. 2.

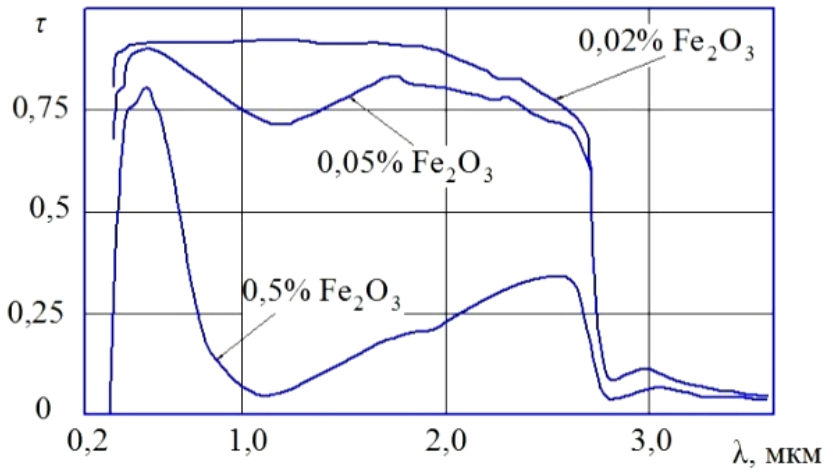


Рисунок 2. Спектри пропускання скла з різним вмістом заліза

Скло з великим вмістом заліза нагрівається як сонячним потоком, так і зворотнім потоком випроміненим від нагрітої поверхні сприймаючої панелі з наступний його відведенням у навколишнє середовище. Відтак, неселективно прозоре скло з тепловідбиваючою плівкою, яка велику частину радіаційного потоку повертає назад, забезпечить відчутне підвищення ефективності сонячного колектора. Виходячи з наведених оцінок, пропонується конструкція колектора, схема якого наведена на рис. 3 та рис. 4.

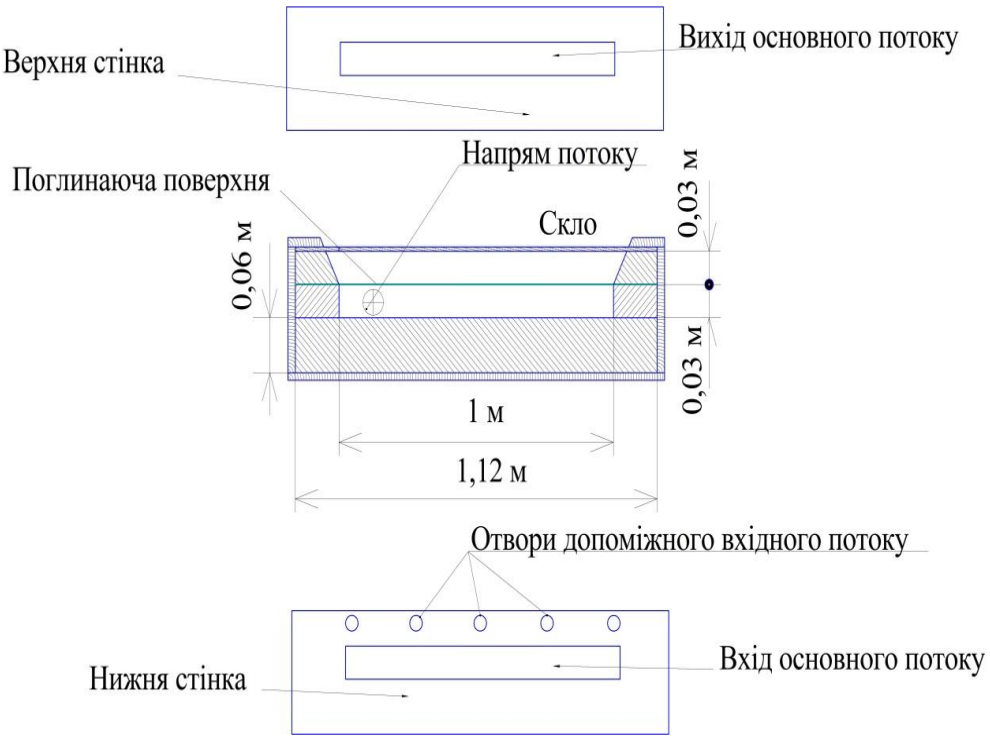
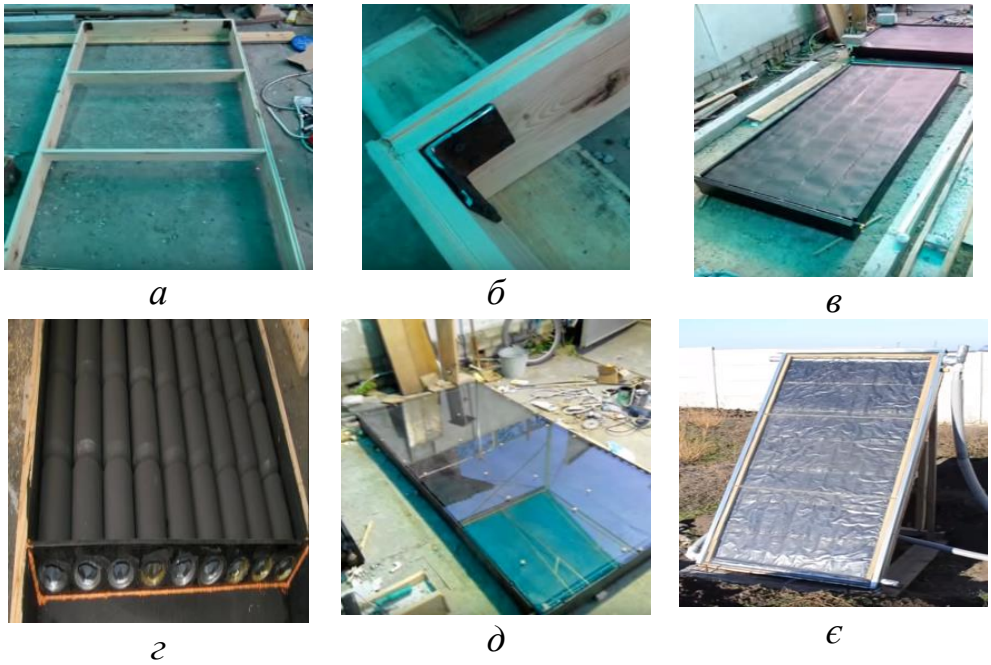


Рисунок 3. Схематична конструкція повітряного колектора



а *б* *в*

г *д* *є*

Рисунок 4. Етапи складання елементів конструкції дослідного зразка повітряного геліоколектора: *а* – складання каркасу колектора; *б* – перевірка геометрії корпусу колектора; *в* – закріплення абсорбера; *г* – розміщення повітряних каналів; *д* – встановлення одношарового скла з тепловідбиваючим покриттям твердого типу 0,02 % Fe_2O_3; *є* – монтаж та пусконалагодження дослідного зразка ПГК [3,5].

Висновки. Стінки колектора теплоізольовані пінопластовими плитами товщиною 6 см з коефіцієнтом теплопровідності λ=0,040 Вт/м·К. Тепловтрати від поглинаючої поверхні до навколишнього середовища проходять через скляне покриття і теплоізоляцію. Загальна площа теплоізоляції включає суму площ скляного покриття і днища $F_{ск}$=1,5 м^2, бокових $F_б$=0,18 м^2 і торцевих стінок повітряних камер $F_{вх}$=0,06 м^2 теплового контакту з нагрітим повітрям. Таким чином, запропоновані інженерні рішення, дають змогу одержати максимально великий спектр потоку прямих сонячних променів, які опромінюють поверхню поглинальної пластини та знизити розсіяну складову випромінювання, що є частиною радіаційного потоку і забезпечує підвищення ефективності сонячного колектора.

Список використаних джерел

1. Parametric study on the thermal performance and optimal design elements of solar air heater enhanced jet impingement on a corrugated absorber plate / Alsanossi M. Aboghrara et al. *International journal of photoenergy*. 2018. 1469385. 21 p. DOI: 10.1155/2018/1469385.

2. Experimental study of solar photovoltaic/thermal (PV/T) air collector drying performance / D. Kong et al. *Solar Energy*. 2020. Vol. 208. P. 978-989. DOI 10.1016/j.solener.2020.08.067.

3. Drying kinetics of cabya (Piper retrofractum Vahl) fruit as affected by hot water blanching under indirect forced convection solar dryer / L. C. Hawa et al. *Solar Energy*. 2021. Vol. 214. P. 588-598. DOI 10.1016/j.solener.2020.12.004.

4. Sreekumar A. Techno-economic analysis of a roof-integrated solar air heating system for drying fruit and vegetables, *Energy Conversion and Management.* 2010. Vol. 51. № 11. P. 2230-2238. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.03.017.

5. Aziz M., Prawisudha P., Prabowo B., Budiman B. A. Integration of energy-efficient empty fruit bunch drying with gasification/combined cycle systems. *Applied Energy.* 2015. Vol. 139. P. 188-195. DOI: 10.1016/j.apenergy.2014.11.038.

6. Korobka S., Babych M., Krygul R., Zdobytskyj A. Substatiation of parameters and operational modes of air solar collector *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3, № 8 (93). P. 16-29. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.132090.

7. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar engineering of thermal processes. 4-d edition. Copyright 2013 by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 944 p.

8. Karim M. A., Amin Z. M. Mathematical modelling and performance analysis of different solar air collectors. *IIUM Engineering Journal*. 2015. Vol. 16, № 2. P. 43-55. DOI: 10.31436/iiumej.v16i2.603.

9. Sharma S. P., Som Nath Saha. Thermohydraulic Performance of Double Flow Solar Air Heater with Corrugated Absorber. *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*. 2017. Vol. 11, № 7. P. 750-756. doi.org/10.5281/zenodo.1131465.

10. Vishwakarma A., Jaurker A. R. Experimental Investigation for Enhancement of Heat Transfer in Double Pass Solar Air Heater Using Transverse Discrete Rib Geometry. *International Journal of Emerging Trends in Engineering and Development*. 2014. Vol. 4. P. 366–377.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2021 р.

V. Boyarchuk, S. Korobka, R. Krygul, M. Babych, I. Stukalets
Lviv National Agrarian University

SUBSTANTIATION OF THE CONSTRUCTION OF HELIOTHERMAL INSTALLATIONS ON THE EXAMPLE OF AIR SOLAR COLLECTOR

Summary

We developed a new design of an air solar collector made in the form of an inseparable power unit, which includes a frame with heat-insulated walls, single glazing and a selective surface on its bottom. We defined a number of generalizing dependences

for the determination of thermal efficiency of an air solar collector, namely, an influence of the mass air flow q_a on a temperature difference of the heat-transfer agent *to* and insulation E, on heat productivity q and the efficiency of the solar collector. Based on the experimental data, we obtained linear regression dependencies of the average daily ambient temperature teat on energy illumination *E* and the average temperature of the heat-transfer agent carrier taat of the average daily ambient temperature teat. We verified the adequacy of the results of theoretical and experimental studies. We established that we achieve the maximum values of the efficiency of the solar collector – from 65 to 80.6 % at a temperature of the outlet flow of the heat-transfer agent to from 30 to 60 °C and mass air flow, q_a from 170 to 190 m^3/h. We determined that an increase in the level of insulation *E* from 100 to 1000 W/m^2 makes it possible to increase heating productivity of the collector q from 320 to 1260 W and the temperature of the heat-transfer agent at the collector outlet *to* from 10 to 60 °C. We can use the obtained results in development and improvement of technical means for drying fruits, for improvement of technological and energy efficiency of the process.

The research carried out in this study is a final stage of a comprehensive study for improvement of the efficiency of the process of fruits drying based on development of design and justification of operating modes of a solar dryer, which will reduce a cost of energy resources due to solar energy. Because the developed air solar collector relates to the air solar heating system of a solar dryer. The solar dryer was developed at «Zorya» private farm located in the zone of western Polissya, namely in the city of Korts, Rivne region (Ukraine).

Key words: air solar collector, transparent coating, absorber, solar energy, temperature, heat exchange, heat loss.

В. М. Боярчук, С. В. Коробка, Р. Е. Крыгуль, М. И. Бабич, И. Г. Стукалец
Львовский национальный аграрный университет

ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ГЕЛИОТЕРМИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА ПРИМЕРЕ ВОЗДУШНОГО ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРА

Аннотация

Разработана новая конструкция воздушного солнечного гелиоколлектора для солнечной сушарки, включающая двойное остекление и селективную поверхность, изготовленную из тонкого металла меди с входными и выходными отверстиями на ее основе. Установлено, что для воспринимающей поверхности с двойным остеклением необходимо использовать стекло с теплоотражающим покрытием из твердого типа К-класса с коэффициентом излучения ε = 0,1 ... 0,15. Это дает возможность получить максимально широкий спектр прямых солнечных лучей, которые облучают поверхность поглощающей пластины и уменьшают диффузионную составляющую излучения, обеспечивают увеличение эффективности солнечного коллектора.

Ключевые слова: *воздушный гелиоколлектор, прозрачное покрытие, абсорбер, солнечная энергия, температура, теплообмен, теплопотери.*

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-35

УДК 537.6/8:504.054

І. І. Сілі, к.т.н. ORCID: 0000-0002-6603-2174
О. Ю. Азархов д.мед.н., к.т.н. ORCID: 0000-0003-2085-4786
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»
e-mail: sili_i_i@pstu.edu

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВІД ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРУГОЮ 750кВ

Анотація. В роботі представлено експериментальні дослідження виміру граничних значень напруженості електричного та магнітного полів поблизу високовольтної магістральної лінії 750 кВ «Запорізька АЕС – Південнодонбаська» в межах Нікольського району Донецької області. Для цього були поставлені такі завдання: виміряти рівень електромагнітного випромінювання поблизу лінії електропередачі напругою 750 кВ; оцінити рівень електричного та магнітного поля у різних точках віддаленості від лінії, провести порівняльний аналіз електромагнітного випромінювання із гранично допустимими рівнями (ГДР) відповідно до діючих нормативних вимог України та світу. Для оцінки напруженості електромагнітного поля (ЕМП) повітряної лінії, застосовувався вимірювач параметрів магнітного та електричного полів промислової частоти 50 гЦ «SOEKS» Імпульс. Даний прилад придбаний кафедрою «Біомедична інженерія» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» за рахунок грантових коштів у рамках проекту ERASMUS+. Вимірювання проводилися для електричного поля в двох ортогональних осях (X,Y) і для магнітного поля в трьох осях (X, Y, Z) при робочій напрузі електроустановки. Статистична обробка даних проводилася з використанням програми Microsoft Excel. Отримані експериментальні дані свідчать, що значення електрично поля (ЕП) і магнітного поля (МП) в зоні дії повітряної лінії (ПЛ) 750 кВ відповідають як українським так і світовим міжнародним нормам. Дослідження не виявили перевищення ГДР в зоні знаходження ПЛ 750 кВ на відстані більше ніж 40 м. Зафіксовані перевищення ГДР в межах до 40 м відповідають нормам, як можливим в охоронній зоні ПЛ даного класу напруги, де заборонено будь-яке будівництво, розміщення техніки, перебування та проживання людей.

© І. І. Сілі, О. Ю. Азархов

Ключові слова: лінія електропередачі, електромагнітне випромінювання, індикатор, напруженість електричного поля, напруженість магнітного поля, гранично допустимий рівень.

Постановка проблеми. В останні роки на Землі склалися нові екологічні умови, що характеризуються терміном «електромагнітне забруднення середовища», запровадженим Всесвітньою організацією охорони здоров'я [1]. Електромагнітне випромінювання (ЕМВ) подібно до радіації, не має ні смаку, ні запаху, проте людина зустрічається з ним щодня, включаючи телевізор, комп'ютер, електропобутові товари, мобільний зв'язок і т. д. [2]. Якщо раніше впливу гігієнічно значимих рівнів електромагнітного випромінювання піддавалося обмежене коло людей, і це були, переважно, особи пов'язані з їх професійної діяльністю, то зараз можна говорити про вплив ЕМВ на все населення. Дослідження Ganatra [3] показали, що особливо різко напруженість полів зросла поблизу ліній електропередачі (ЛЕП), радіо-, телестанцій, засобів радіолокації та радіозв'язку (в т. ч. мобільного та супутникового), різних енергетичних установок, міського електротранспорту. З точки зору еволюційного процесу колосальне зростання напруженості електромагнітного поля можна розглядати як одномоментний стрибок з неясними поки що біологічними наслідками.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В даний час все більше уваги приділяється проблемам негативного впливу на організм людини і тварин електромагнітних полів і радіовипромінювань. До середини XX століття вчені не брали до уваги електромагнітне випромінювання, вважаючи, що його кванти випромінюють менше енергії, ніж тепловий рух молекул і абсолютно безпечні для тваринного і рослинного світу. Зараз електромагнітні хвилі стали великою проблемою, оскільки їх несприятливий вплив проявляється як на клітинному рівні, так і на весь організм.

Як пише Heald [4], електромагнітне поле (ЕМП) - це особливий вид матерії, що характеризується сукупністю електричних і магнітних властивостей, основними параметрами якого є частота, довжина хвилі та швидкість поширення. Механізми впливу ЕМП не вивчені до кінця, особливо це стосується випромінювань малої частоти (близько 50 гЦ). Lv та Ma у [5] прийшли до висновку, що проходячи через тіло людини, електромагнітні хвилі збуджують електрони в речовинах і активізують біохімічні процеси в організмі людини (оскільки, людина на 70-80% складається з води). Спостерігається підвищення температури тіла, молекули іонізуються і викликають вторинні, слабші електромагнітні випромінювання в живих тканинах. Оскільки кожен орган працює на певній частоті: наприклад серце - 700 Гц, мозок у сні - 10 Гц, під час неспання - 50 Гц, джерело електромагнітних хвиль, що працює на іншій

або аналогічній частоті, може порушити нормальне функціонування органу і призвести до розвитку захворювання.

На сучасному етапі актуальним є аналіз електромагнітного забруднення міських та сільських територій, основним джерелом електромагнітних полів техногенного походження є, насамперед, високовольтні лінії ЛЕП, телевізійні та радіолокаційні станції, базові станції мобільної мережі, промислове технологічне обладнання та портативні джерела.

Експериментальні дані вітчизняних дослідників свідчать про високу біологічну активність електромагнітних полів у всіх частотних діапазонах [6]. При високих рівнях опромінюючого електромагнітного поля, сучасна теорія визнає тепловий механізм впливу. В наших попередніх роботах відмічено, що при відносно низькому рівень - прийнято говорити про нетепловий або інформаційний характер впливу на організм [7].

На основі аналізу літературних даних, щодо впливу негативних факторів, найчастіше вони мають кумулятивний характер і не мають гострих проявів, у подальшому викликаючи фізичні захворювання та певні ризики:

- алергічні захворювання;
- захворювання крові;
- онкологічні захворювання;
- хвороби системи кровообігу;
- хронічні неспецифічні захворювання легень;
- захворювання органів травлення та інші [8].

Значна частина наукових досліджень, що вивчають довгострокові ризики впливу магнітного поля низьких частот, зосереджена на дитячій лейкемії. У 2002 році IARC опублікував монографію [9], яка класифікує магнітні поля частотою 50 Гц як «можливо канцерогенні для людини». Ця класифікація використовується для позначення агента, для якого є обмежені докази канцерогенності для людей і менш ніж достатні докази канцерогенності у експериментальних тварин. Ця класифікація була заснована на об’єднаних аналізах епідеміологічних досліджень, які демонструють послідовну картину дворазового збільшення дитячої лейкемії, пов’язаної із середнім впливом магнітного поля з частотою потужності в побуті понад 0,3–0,4 мкТл. Цільова група дійшла висновку, що додаткові дослідження з тих пір не змінюють статус цієї класифікації.

Однак епідеміологічні дані ослаблені методологічними проблемами, такими як потенційна упередженість відбору. Крім того, немає визнаних біофізичних механізмів, які б припускали, що опромінення низького рівня бере участь у розвитку раку. Таким чином, якщо були будь-які ефекти від впливу цих полів низького рівня, це мало

б бути через біологічний механізм, який поки що невідомий. Крім того, дослідження на тваринах були в основному негативними. Таким чином, зрештою, докази, пов'язані з дитячою лейкемією, недостатньо вагомі, щоб вважати їх причинними.

Високі показники напруженості ЕМП промислової частоти (50 гЦ) проявляються поблизу ЛЕП високого класу напруги. В останні роки, в зв'язку з розвитком на території Запорізької та Донецької областях вітроенергетики, постійно зростає протяжність ліній електропередачі високого класу напруг (35 кВ і вище), кількість підвищувальних підстанцій, розподільчих пунктів та обсяг генерації електроенергії. На сьогоднішній момент завершується будівництво та введення в експлуатацію нової лінії 330 кВ ПС «Мелітопольська» - ПС «Мирне», мета якої розподіл та транспортування згенерованої електроенергії від ВЕС «Ботієвська», «Приморська», «Орлівська» та ін. Незважаючи на систему регламентації, що обмежує вплив електромагнітних полів ЛЕП на населення, що передбачає санітарно-захисні зони, у тих, хто проживає в районах проходження ЛЕП, підвищується ризик серцево-судинних захворювань та захворювань нервової системи.

Формулювання мети статті. Проведення виміру рівнів електричних неіонізуючих електромагнітних випромінювань поблизу магістральної повітряної лінії 750 кВ «Запорізька АЕС – Південнодонбаська» в межах Нікольського району Донецької області промислової частоти 50 Гц і отримання експериментальних даних.

Основна частина. Для оцінки напруженості ЕМП повітряної лінії, застосовувався вимірювач параметрів магнітного та електричного полів промислової частоти ™ «SOEKS» Імпульс (рис.1).



Рисунок 1. Загальний вид індикатору ЕМП ™«SOEKS» Імпульс

Даний прилад придбаний кафедрою «Біомедична інженерія» ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» за рахунок гранту у рамках проекту ERASMUS K2+ 586114-EPP-1-2017-1-ES-EPPKA2-CBHE-JP 58 (BioArt) «Впровадження інноваційної

мультидисциплінарної навчальної програми в галузі біоінженерії штучних імплантатів для бакалаврів та магістрів» [10].

Індикатор електромагнітного поля «SOEKS Імпульс» призначений для виявлення зон з підвищеними електричними і магнітними полями. Пристрій дає можливість визначення спрямованості електромагнітного поля. SOEKS Імпульс визначає зони з підвищеним електромагнітним полем в приміщенні, житловій зоні та на відкритому просторі. Такі зони створюються побутовою технікою, проводкою, концентрацією електричних пристроїв, промисловими підприємствами, мережами ЛЕП і т.д [11]. При виміру електромагнітних полів автоматично встановлюються пороги спрацювання звукового сигналу та інформаційних повідомлень на дисплеї відповідно до нормативних документів: ДСаНіП 239-96, ДСНіП 3.3.6.096-2002 [12,13]. Технічні параметри приладу наведені в табл. 1. Пристрій має сертифікат відповідності згідно ISO 9001 № EC.C.O.02.01.000777-12 [11].

Таблиця 1

Технічні характеристики приладу «SOEKS» Імпульс

Найменування параметра	Значення параметра
Діапазон вимірюваних частот електромагнітного поля, Гц	від 20 до 2 000
Діапазон вимірювання амплітудного значення напруженості магнітного поля (магнітної індукції) по осях X, Y, Z, А / м (мкТл)	від 0,04 до 12 (від 0,05 до 15)
Діапазон вимірювання середньоквадратичних значень напруженості магнітного поля (магнітної індукції), А / м (мкТл)	від 0,08 до 20 (від 0,1 до 25)
Межі допустимої відносної похибки вимірювання напруженості магнітного поля,%	30
Апаратна нелінійність вимірювання напруженості магнітного поля в діапазоні виміру на частоті тестового магнітного поля 50 Гц, не більше, %	7
Діапазон вимірювання амплітудного значення напруженості електричного поля, В / м	від 10 до 1700
Межі відносної похибки вимірювання значень електричного/магнітного поля,%	+/- 15%

Вимірювання проводилися для електричного поля в двох ортогональних осях (X,Y) і для магнітного поля в трьох осях (X, Y, Z). Вимірювання напруженості електричного поля (ЕП) та магнітного поля (МП) здійснювалися безпосередньо під ПЛ та на відстані 5, 10, 20 і 50 м від крайніх дротів ПЛ 750 кВ «Запорізька АЕС – Південнодонбаська» в межах Нікольського району Донецької області (рис. 2,3). Вимірювання напруженості ЕМП проводилися при робочій напрузі

електроустановки. Дослідження проводилося у жовтні місяці 2021 р. за температури повітря t = 8°С, вологості 54%, тиску 756 мм рт. ст, сумарна сонячна радіація - 0 Вт/м^2. Для кожного вимірювання вимірювач тримали на висоті 1,5 м над рівнем землі і давали йому час стабілізувати значення протягом 5 секунд, перш ніж було записано найвище значення. Приблизно 10% вимірювань було зібрано для забезпечення якості та контролю.



Рисунок 2. Місце проведення заміру ЕМП ПЛ 750 кВ на території Нікольського району Донецької області

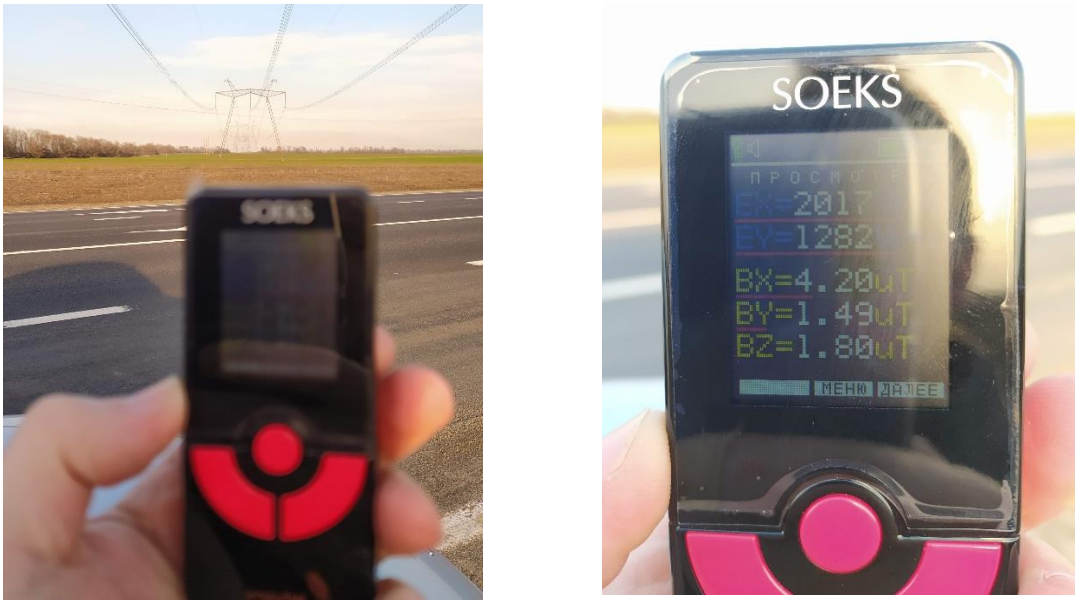


Рисунок 3. Зняття параметрів ЕМП поблизу ПЛ 750 кВ пристроєм «SOEKS» Імпульс

Вимір показників був проведений відповідно до міжнародного протоколу Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) “Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines” [14]. Вздовж траси лінії електропередачі були розташовані сільськогосподарські угіддя і поля засіяні посівами.

Статистична обробка даних проводилася з використанням програми Microsoft Excel. Результати вимірювання параметрів електричного поля у двох діапазонах показують величину напруженості електричного поля ($\overline{E}$), а результат вимірювання параметрів магнітного поля у трьох діапазонах показують величину індукції магнітного поля ($\overline{B}$).

Відомо, що поширення електромагнітних хвиль у просторі (рис. 4) являє собою процес послідовного взаємопов'язаної зміни векторів ($\overline{E}$, $\overline{B}$) електричного та магнітного поля, перпендикулярних напрямку (променю) поширення хвилі, при якому зміни електричного поля викликають зміну магнітного. Тому в певних точках простору у джерела випромінювання вимірювалися дві величини поля для отримання значень у числовому вигляді. Отримані експериментальні дані приведені в табл. 2 та на рис. 5, 6.

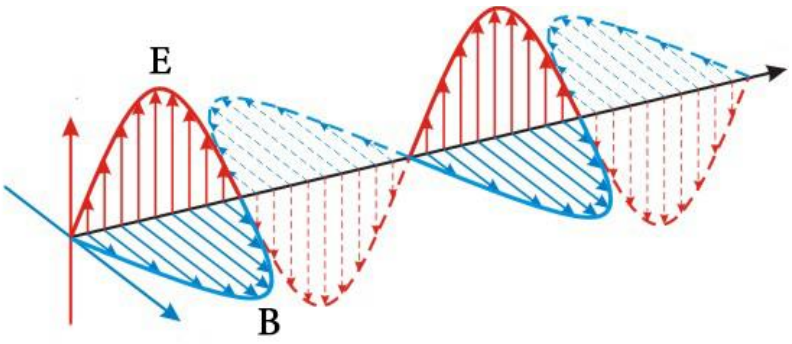


Рисунок 4. Поширення електромагнітних хвиль у просторі у вигляді зміни векторів $\overline{E}$ та $\overline{B}$

Таблиця 2

Результати експериментальних даних

Параметр	Відстань від охоронної зони ПЛ 750 кВ, м					
	під лінією	5	10	20	50	100
Ex, В/м	2022	2018	1984	1682	415	175
Ey, В/м	893	863	423	251	152	86
Bx, мкТл	2.83	3.23	2.19	1.84	0.14	0.03
By, мкТл	1.07	1.02	0.93	0.86	0.07	0.05
Bz, мкТл	4.24	4.23	3.12	1.07	0.34	0.14

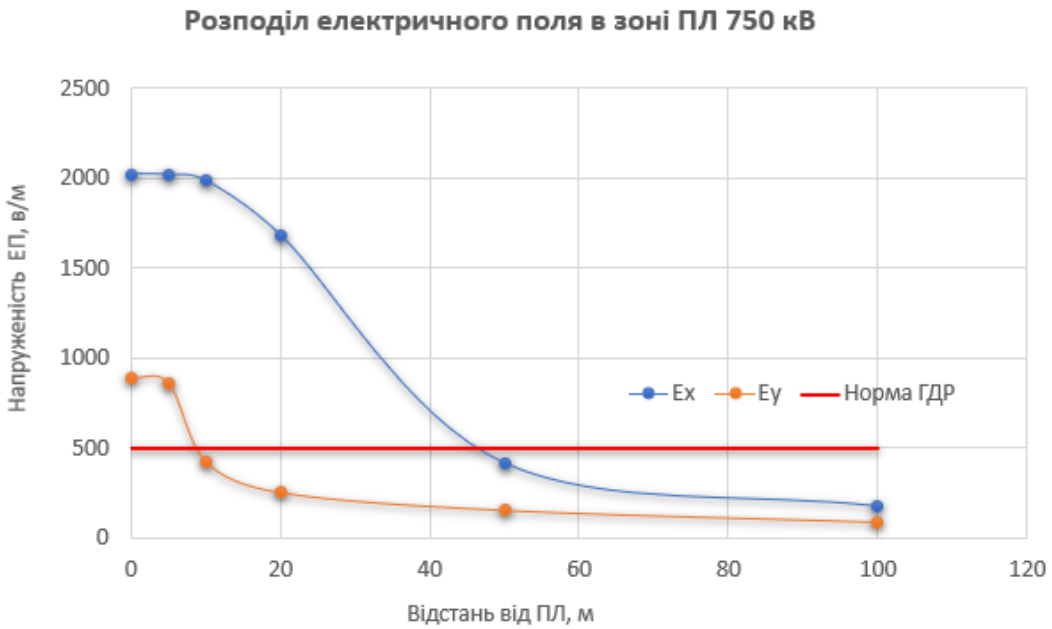


Рисунок 5. Розподіл електричного поля (вектори *Ex*, *Ey*) в зоні ПЛ 750 кВ

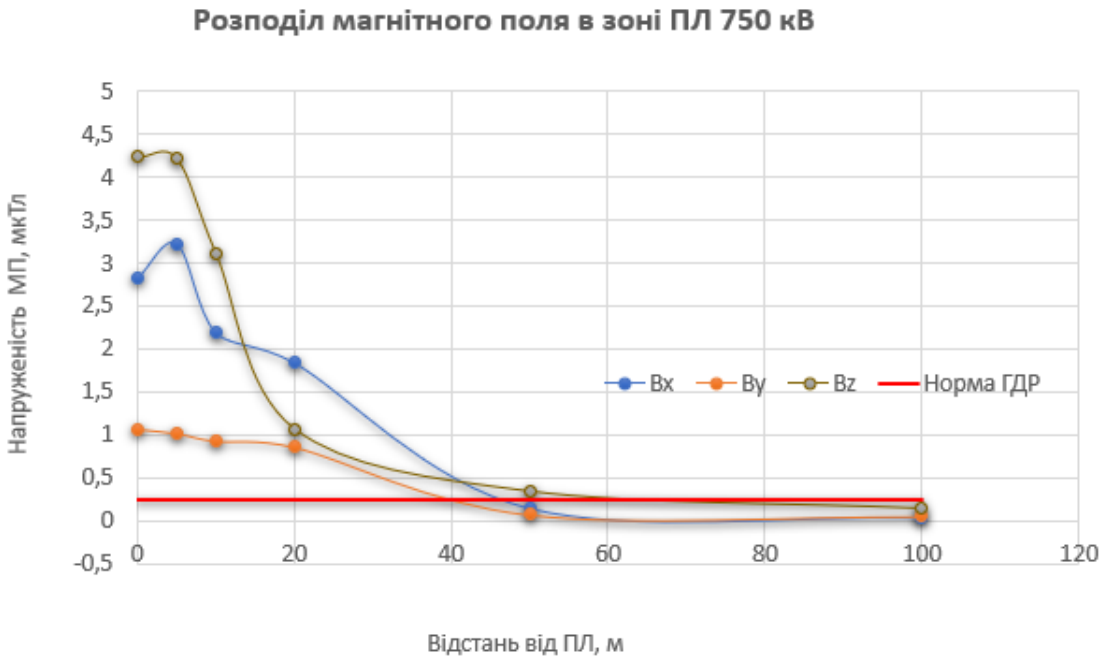


Рисунок 6. Розподіл магнітного поля (вектори *Bx*, *By*, *Bz*) в зоні ПЛ 750 кВ

На сьогодні в Україні є чинними два документи, які регламентують вимоги, щодо захисту населення від впливу ЕМП: ДСН 239-96 та ДСНіП 3.3.6.096-2002 [12,13]. Перший - визначає гігієнічні вимоги до передавальних радіо-, телевізійних станцій та інших об'єктів, які випромінюють електромагнітну енергію в навколишнє середовище. Другий - встановлює вимоги до умов праці працівників, що

займаються виготовленням, експлуатацією, обслуговуванням та ремонтом обладнання, при роботі якого виникають постійні магнітні поля та електромагнітні випромінювання у діапазоні частот від 50,0 Гц до 300,0 ГГц. Також є діючим міжнародний протокол, щодо граничних норм низькочастотного випромінювання та його впливу на живі організми - «International commission on non-ionizing radiation protection guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz)» [15].

У [16] говориться про те, що санітарно-захисна зона для ПЛ встановлюється у вигляді земельної ділянки, межі якої регламентуються по обидві сторони від неї на певній відстані від проекції крайніх фазних проводів на землю, в перпендикулярному до ПЛ напрямку і становить 40 м для ПЛ напругою 750 кВ. В зоні забороняється будь-яке будівництво, розміщення техніки, насаджень, перебування та проживання людей. Приймемо відстань у 40 м, як межу для ГДР поблизу ЛЕП 750 кВ.

Відповідно до [12] постійні магнітні поля, а також змінні ЕМП на частоті 50 Гц нормуються за магнітною (В) та електричною (Е) складовими ЕМП. Одиницею напруженості магнітного поля є ампер на метр (А/м або мкТл), електричного поля - вольт на метр (В/м). Граничнодопустимі значення напруженості магнітного електричних полів частотою 50 Гц визначаються залежно від часу дії цього фактора на організм людини. Перебування в електричному полі напруженістю до 5 кВ/м включно допускається протягом 8 годин. Рівні напруженості магнітного поля частотою 50 Гц при постійному впливі не повинні перевищувати 1,4 кА/м (1750 мкТл) протягом 8 годин.

Аналіз нормативної документації щодо впливу ЕМП низьких частот на людей та інших біологічних об’єктів показав, що українські норми [13] відповідають міжнародним [15], за якими за граничнодопустимі значення прийняті такі значення напруженості ЕП та МП:

- всередині житлових будинків – 0,5 кВ/м та 0,25 мкТл;
- на території зони житлової забудови - 1 кВ/м та 0,25 мкТл;
- у населеній місцевості, поза зоною житлової забудови (землі в межах міста з урахуванням перспективного розвитку на 10 років, приміські та зелені зони, курорти, землі селищ міського типу, в межах селищної межі і сільських населених пунктів, в межах цих пунктів), а також на території городів і садів - 5 кВ/м та 0,5 мкТл;
- на ділянках перетину ПЛ з автомобільними шляхами I - IV категорій - 10 кВ/м та 1 мкТл.

Як видно з отриманих експериментальних даних, значення ЕП і МП в зоні дії ПЛ 750 кВ відповідають як українським так і світовим міжнародним нормам відповідно до [12], [13] та [15]. Дослідження не

виявили перевищення ГДР в зоні знаходження ПЛ 750 кВ на відстані більше ніж 40 м. Зафіксовані перевищення ГДР в межах до 40 м відповідають нормам згідно [16], як можливим в охоронній зоні ПЛ даного класу напруги, де заборонено будь-яке будівництво, розміщення техніки, перебування та проживання людей.

Висновки. У науковій роботі представлено експериментальні дослідження виміру граничних значень напруженості електричного та магнітного полів поблизу високовольтної магістральної лінії 750 кВ «Запорізька АЕС – Південнодонбаська» в межах Нікольського району Донецької області. Для оцінки напруженості ЕМП повітряної лінії, застосовувався вимірювач параметрів магнітного та електричного полів промислової частоти 50 гЦ «SOEKS» Імпульс. Вимірювання проводилися для електричного поля в двох ортогональних осях (X,Y) і для магнітного поля в трьох осях (X, Y, Z) при робочій напрузі електроустановки. Отримані експериментальні дані свідчать, що значення ЕП і МП в зоні дії ПЛ 750 кВ відповідають як українським так і світовим міжнародним нормам відповідно до [12], [13] та [15]. Дослідження не виявили перевищення ГДР в зоні знаходження ПЛ 750 кВ на відстані більше ніж 40 м. Зафіксовані перевищення ГДР в межах до 40 м відповідають нормам згідно [16], як можливим в охоронній зоні ПЛ даного класу напруги, де заборонено будь-яке будівництво, розміщення техніки, перебування та проживання людей. Наші експериментальні дані узгоджуються з проведеними вимірюваннями ЕМП отриманими дослідниками на чолі з Lindsay C. McCallum у Канаді в 2014 році [17]. Отримані експериментальні дані пропонується застосовувати як основу для подальших досліджень впливу ЕМП ЛЕП високої напруги низької частоти на біологічні об’єкти.

Список використаних джерел

1. Zamanian A., Hardiman C. Electromagnetic radiation and human health: A review of sources and effects. *High Frequency Electronics*. 2005. Т. 4. №. 3. P. 16-26.

2. Rifai A. B., Hakami M. A. Health hazards of electromagnetic radiation. *Journal of Biosciences and Medicines*. 2014. Т. 2. № 8. P. 10-25. DOI: 10.4236/jbm.2014.28001.

3. Health hazards due to electromagnetic radiation in the workplace / V. Ganatra et al. *International Journal for Innovative Research in Science and Technology*. 2015. Т. 1, № 8. P. 138-145.

4. Heald M. A., Marion J. B. Classical electromagnetic radiation. Courier Corporation. Mineola, New York, 2012. 577 p.

5. Lv M., Ma J. Multiple modes of electrical activities in a new neuron model under electromagnetic radiation. *Neurocomputing*. 2016. Vol. 205. P. 375-381. DOI: 10.1016/j.neucom.2016.05.004.

6. Сілі І. І., Азархов О. Ю. Дослідження та розрахунок параметрів антенної системи знищення шкідників картоплі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 2. С. 241-48. DOI: 10.31388/2078-0877-20-2-241-249.

7. Сілі І. І. Розрахунок параметрів взаємодії радіоімпульсів НВЧ випромінювання з рослинним середовищем картоплі. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-47.

8. Gupta S., Sharma R. S., Singh R. Non-ionizing radiation as possible carcinogen. *International Journal of Environmental Health Research*. 2020. p. 1-25. DOI: 10.1080/09603123.2020.1806212.

9. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some industrial chemicals. Lyon, 2002. P. 389-433.

10. Інноваційна мультидисциплінарна освітня програма зі штучних імплантів для біо-інженерії для бакалаврів та магістрів. URL : https://erasmusplus.org.ua/projects/ka2/2284-innovatsiina-multydystsyplinarna-osvitnia-prohrama-zi-shtuchnykh-implantiv-dlia-bio-inzhenerii-dlia-bakalavriv-ta-mahistriv.html (дата звернення: 28.10.2021).

11. Индикатор электромагнитных полей СОЭКС Импульс. URL: https://soeks.com.ua/pribor/indikator-yelektromagnitnykh-poley-soeks/ (дата звернення: 28.11.2021).

12. Про затвердження Державних санітарних правил та норм (ДСН 239-96): наказ МОЗ України від 01 липня 1996 р. № 239. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0488-96 (дата звернення: 13.10.2021).

13. Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів (ДСНіП 3.3.6.096-2002): наказ МОЗ України від 18 грудня 2002 р. № 476. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0203-03 (дата звернення: 13.10.2021).

14. IEEE: Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields From AC Power Lines. URL: http://www.euitt.upm.es/estaticos/catedra-coitt/web_salud_medioamb/normativas/ieee/644-1994.pdf (дата звернення: 26.10.2021).

15. International Commission on Non-ionizing Radiation Protection (ICNIRP): ICNIRP Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz). *Health Physics*. 1998. Vol. 74, № 4. P. 494-522.

16. Про затвердження Правил безпечної експлуатації електроустановок (НПАОП 40.1-1.01-97): наказ Держнаглядохоронпраці від 06 жовтня 1997 р. № 257. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0011-98 (дата звернення:

13.10.2021).

17. Measuring electromagnetic fields (EMF) around wind turbines in Canada: is there a human health concern? / L. C. McCallum et al. *Environ Health*. 2014. Vol. 13, № 9. DOI: 10.1186/1476-069X-13-9.

Стаття надійшла до редакції 1.11.2021

I. Sili, O. Azarkhov
Pryazovskyi State Technical University (PSTU)

ELECTROMAGNETIC POLLUTION RESEARCH FROM 750 kV ELECTRIC TRANSMISSION LINES

Summary

The scientific work presents experimental studies of measuring the limit values of electric and magnetic field strength near the 750 kV power line "Zaporizhzhya Nuclear Power Plant - Pivdennodonbaska" on the territory of Nikolsky district of Donetsk region. To achieve the goal, the following tasks were set: to measure the level of electromagnetic radiation near the power line with a voltage of 750 kV; assess the level of electric and magnetic fields at different points of distance from the line, conduct a comparative analysis of electromagnetic radiation with the maximum allowable levels in accordance with current regulations laws of Ukraine and international guidelines of ICNIRP. To estimate the EMF of the overhead line, a meter of parameters of magnetic and electric fields of industrial frequency "SOEKS" Impulse was used. This device was purchased by the Department of Biomedical Engineering of Pryazovskyi State Technical University (PSTU) through a grant costs under the ERASMUS+ project. Measurements were performed for the electric field in two orthogonal axes (X, Y) and for the magnetic field in three axes (X, Y, Z) at the operating voltage of the electrical station. Statistical data processing was performed using Microsoft Excel. The obtained experimental data show that the values of EF and MF in the area of operation of the 750 kV extremely low frequency (ELF) power line meet both Ukrainian and world international standards in accordance. The research did not reveal boundary permissible level exceedances in the area where the 750 kV ELF power line is located at a distance of more than 40 m. The recorded boundary permissible level exceedances within 40 m meet the Ukrainian standard, where equipment, stay and accommodation of people are prohibited.

Key words: power line, electromagnetic radiation, indicator, electric field strength, magnetic field strength, boundary permissible level.

И. И. Сили, А. Ю. Азархов
ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОТ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НАПРЯЖЕНИЕМ 750кВ

Аннотация

В научной работе представлены экспериментальные исследования измерения предельных значений напряженности электрического и магнитного полей вблизи линии 750 кВ. Для этого были поставлены следующие задачи: измерить уровень электромагнитного излучения вблизи линии электропередачи

напряжением 750 кВ; оценить уровень электрического и магнитного поля в разных точках удаленности от линии, провести сравнительный анализ электромагнитного излучения с предельно допустимыми уровнями в соответствии с действующими нормативными требованиями Украины и мира. Для оценки напряженности ЭМП воздушной линии применялся измеритель параметров магнитного и электрического полей промышленной частоты «SOEKS» Импульс. Измерения производились для электрического поля в двух ортогональных осях (X,Y) и для магнитного поля в трех осях (X, Y, Z) при рабочем напряжении электроустановки. Статистическая обработка данных производилась с использованием программы Microsoft Excel. Полученные экспериментальные данные свидетельствуют, что значения ЭП и МП в зоне действия ВЛ 750 кВ соответствуют как украинским, так и мировым международным нормам. Исследования не выявили превышения ГДУ в зоне нахождения ВЛ 750 кВ на расстоянии более 40 м. Зафиксированные превышения ГДУ в пределах до 40 м соответствуют украинским нормам, как возможным в охранной зоне ВЛ данного класса напряжения, где запрещено любое строительство, размещение техники, пребывания и проживания людей.

Ключевые слова: линия электропередачи, электромагнитное излучение, индикатор, напряженность электрического поля, напряженность магнитного поля, предельно допустимый уровень.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-36

УДК 621.357.12

І. П. Назаренко, д.т.н. ORCID: 0000-0001-6365-6777
В. Л. Іконніков ORCID: 0000-0001-6381-1925
А. Б. Чебанов, к.т.н. ORCID: 0000-0002-8014-8624
С. В. Дубініна ORCID: 0000-0002-2029-8989
[1]*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*
e-mail: igornazarenko01@gmail.com тел. 0687968132

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ В ЕЛЕКТРОЛІЗЕРАХ З ЕЛЕКТРОЛІТИНОЮ МЕМБРАНОЮ

Анотація. Стаття присвячена дослідженню енергоефективності процесу електролізу в електролізерах з електролітичною мембраною під впливом електричних параметрів. Для встановлення цих характеристик, виготовлена експериментальна установка, використано необхідне вимірювальне обладнання, розроблена методика проведення досліджень та проведений необхідний розрахунок виміряних величин. В результаті, виявлено вплив робочої напруги на споживання струму, що протікає через електроди електролізера і споживану ним потужність, значення яких збільшуються із збільшенням робочої напруги. Встановлено, що енергоефективність процесу в електролізерах із застосуванням електролітичної мембрани зменшується із збільшенням робочої напруги. При робочій напрузі у 1,5 В, 1,7 В та 2 В, енергоефективність відповідно складає 90,7%, 89,5% та 88,3%.

Ключові слова. Електроліз, електролізер, паливний елемент, водень, відновлювальні джерела енергії.

Постановка проблеми. Воднева енергетика включає сукупність технологій виробництва, транспортування, акумулювання та використання універсального вторинного енергоносія – водню. У концепції водневої енергетики водень доповнює собою найважливіший вторинний енергоносій – електроенергію. Енергетичне використання водню визначається можливістю екологічно чистого отримання електроенергії та тривалого зберігання без втрат.

Спочатку концепція водневої енергетики у найбільш «чистому» вигляді передбачала отримання водню на великих підприємствах шляхом розкладання води з витратою ядерної енергії, транспортування

© І. П. Назаренко, В. Л. Іконніков, А. Б. Чебанов, С. В. Дубініна

водню до центрів його споживання та розподіл з подальшим використанням його як палива у тих випадках, де сьогодні використовуються газ, рідке чи тверде паливо [1,2].

З розвитком відновлюваної енергетики, що спирається на змінні ресурси сонячної та вітрової енергії, а також поширення технологій розподіленої генерації та інтелектуальних мереж проблема довготривалого і сезонного зберігання енергії виходить на перший план. Вирішення цієї проблеми забезпечить компенсацію коливання, збалансування надлишку і дефіциту електричної енергії згідно з потребами енергетичного ринку [3-5]. Для України важливим аспектом в рамках вирішення вище представленої проблеми є широке використання водню як високоефективного енергоносія, що забезпечить найбільш перспективний шлях до вирішення енергетичних проблем, таких як створення необхідних балансових потужностей [6]. Окрім цього використання водню суттєвого скоротить шкідливі викиди до атмосфери [7].

Один із найбільш перспективних шляхів розвитку водневої енергетики заснований на використання водню, що вироблений методом електролізу, наприклад [8,9]. Електроліз відрізняється простотою технологічної схеми, можливістю ефективного використання відновлювальних джерел енергії, доступністю сировини і відносною легкістю обслуговування енергетичних установок [10]. Однак, істотним недоліком такого електрохімічного методу отримання водню є велика енергоємність процесу розкладання води [11]. Найменш енергоємним (тобто той, який має найбільшу енергоефективність) є метод електролізу із застосуванням електролітичної мембрани, наприклад [12]. В такому пристрої швидкість виділення водню та енергоефективність самого процесу буде залежати від напруги, що подається до електролізера. Пошук оптимальних параметрів представляє актуальне завдання даної роботи, так як такі данні нададуть можливість у серійних електролізерах встановити найбільшу енергоефективність процесу.

Аналіз останніх досліджень. Відомі різні способи виробництва водню, починаючи від традиційних, таких як, наприклад, конверсія вуглеводнів, та закінчуючи біологічними методами, коли водень виділяється спеціально підібраними мікроорганізмами [13]. У світі промисловим методом виробляється близько 50-60 млн. т. водню, при цьому практично 95% водню, що виробляється, виходить з вуглецевмісної сировини, в першу чергу копалин – природного газу та вугілля, а також нафтопродуктів. Більшість виробленого водню є побічним продуктом переробки нафти і використовується на місці виробництва в технологічній схемі. Наприклад, у ЄС у 2006 р. 42% водню вироблялося з нафтопродуктів та 47% споживали на

нафтопереробку [2]. Другим основним джерелом водню є природний газ (метан), а сферою споживання – виробництво аміаку [2].

Ключові технології отримання водню з вуглеводнів, вугілля та біомаси включають: конверсія (зокрема парова конверсія метану); часткове окислення та автотермічна конверсія; газифікація; біологічні методи (ферментація, фотоліз). Термохімічні методи засновані на проміжному отриманні синтез-газу, що являє собою суміш монооксиду вуглецю і водню в пропорціях до 1:3 [13].

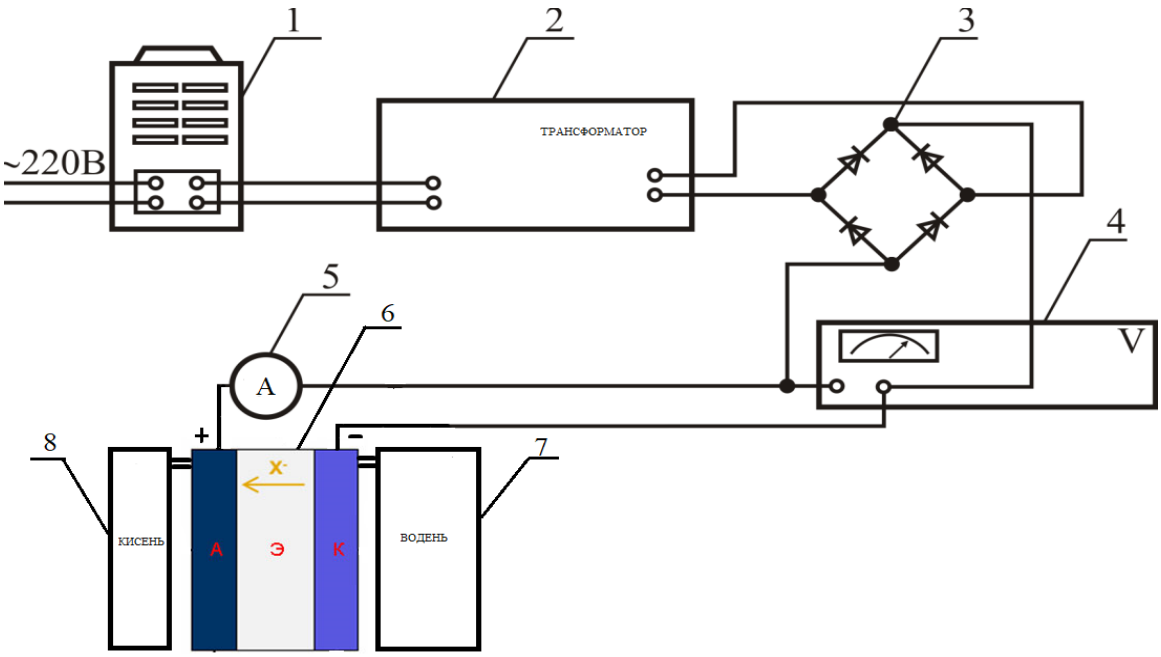
При отриманні водню з вихідної сировини можливе отримання проміжних продуктів, таких як синтетичні рідкі палива, біогаз та ін. із застосуванням таких методів як піроліз, торефікація, гідроліз, етерифікація, анаеробне зброджування, алкогольна ферментація тощо. Ці проміжні продукти можуть бути перероблено також у водень [13].

Найбільш розповсюдженим методом отримання водню є електролітичне розкладання води (електроліз). Основні види електролізу відрізняються типом носіїв заряду, такими як гідроксид-іони у лужному електролізі води та протони у кислотному електролізі. Високопродуктивні лужні та твердополімерні (PEM) електролізні системи у теперішній час виробляються багатьма зарубіжними компаніями, такими як CETH2/Areva H2Gen, Hydrotechnik, Hydrogenics, ITM Power, McPhy Energy, NEL, Next Hydrogen, PERIC, Siemens [14]. При виробництві, кожний електролізер оснащується допоміжними системами водопідготовки, охолодження та очищення до 99.999%, термін експлуатації становить 6-11 років. Але такий метод розкладання водню має доволі низький ККД, який безпосередньо впливає на енергоефективність процесу. Для серійних лужних електролізерів ККД за нижньою теплотою згоряння водню на початок експлуатації знаходиться в діапазоні 52%-62% і 67-64% для твердополімерних, які характеризуються більшою швидкістю деградації, ніж лужні [14].

Формування цілей статті. Ціллю статті є оцінка впливу електричних параметрів процесу електролізу в електролізері із застосуванням електролітичної мембрани на його енергоефективність.

Основна частина. Для виконання експериментальних досліджень процесу отримання водню і кисню виготовлено експериментальну лабраторну установку (рис. 1). Лабораторна установка для дослідження процесу електролізу (рис. 1) складається з лабораторного автотрансформатору 1, необхідного для регулювання напруги, трансформатора 2 з випрямним діодним мостом 3, необхідного для зниження напруги та її випрямлення, вольтметру-амперметру DSN-VC288 4 та 5, електролізеру 6, двох камер об’ємом 20 мл для накопичення водню 7 та об’ємом 10 мл для накопичення кисню 8. При проведенні експериментальних досліджень було використано

електролізер з металевими електродами покритими платиною та розділених між собою електролітичною мембраною з тведополімерного електроліту. Час накопичення водню вимірювався секундоміром (на схемі не вказано).



1 – лабораторний автотрансформатор;
2 – трансформатор; 3 – випрямний діодний міст;
4, 5 – вольтметр-амперметр DSN-VC288; 6 – електролізер;
7 – камери об'ємом 20 см^3 для накопичення водню; 8 – камера об'ємом 10 см^3 для накопичення кисню 8.

Рисунок 1. Схема лабораторної установки для дослідження електролізу

Показник енергоефективності процесу електролізу визначався, як:

$$\eta = \left(1 - \frac{W_{\Sigma 2}}{W_{\Sigma 1}}\right) \cdot 100, \qquad (1)$$

де $W_{\Sigma 2}$ – витрати електричної енергії на виробництво водню, Дж/м^3

$W_{\Sigma 1}$ – нижча теплотворна здатність, що може бути отримана при спалюванні водню. За [15] нижча теплотворна здатність водню становить 120 мДж/м^3.

Складена методика проведення досліджень, яка полягала у наступному. Електролізер 6 заповнювався очищеною медичною дистильованою водою. Після цього, на електроди подавалась встановлена напруга постійного струму, яка в процесі одного дослідження підтримувалася постійною і не змінювалася. Значення

напруг постійного струму при яких проводилися дослідження, були наступні: $U_1 = 1{,}5\,\text{В}$; $U_2 = 1{,}75\,\text{В}$; $U_3 = 2\,\text{В}$. Величини напруг встановлені з урахуванням попередніх досліджень та методик, що представлено у [16]. При кожній напрузі на електродах електролізера 6 проводилось вимірювання струму, часу накопичення водню та об'єм водню, що отримується.

Розраховували потужність, що витрачається на виробництво водню за формулою в межах заданого часу:

$$P_i = I_i \cdot U_i, \tag{2}$$

де I_i – струм, що протікає через електроди електролізера, А;

U_i – робоча напруга процесу, В;

Розраховували витрати електричної енергії на виробництво водню лабораторним електролізером за формулою:

$$W_i = P_i \cdot (t_{i+1} - t_i), \tag{3}$$

де W_i – витрати електричної енергії на виробництво водню за час $(t_{i+1} - t_i)$, Дж;

$(t_{i+1} - t_i)$ – час, за який витрачено визначену кількість енергії на отримання відповідного об'єму водню, с.

У дослідженнях інтервал часу Δt, при яких фіксували значення параметрів з урахуванням попередніх досліджень [16] встановлено на рівні $\Delta t = 10\,\text{сек}$. Таким чином, значення $(t_{i+1} - t_i)$ визначалося різницею між часом, за який виконувався поточний дослід t_{i+1} та часом, за яким відбувався попередній дослід t_i (або Δt).

Розраховували сумарну витрату електричної енергії на виробництво водню за формулою:

$$W_{\Sigma 2} = \sum W_i, \tag{4}$$

Енергоефективність процесу розраховували за формулою (1) з урахуванням тієї кількості водню, що отримано при дослідженнях. Тобто, якщо нижча теплотворна здатність для 1 м^3 водню становить $W_{\Sigma 1} = 120$ мДж/м^3, а при дослідженнях максимально отримано 20 мл, тоді для такої кількості водню, показник $W_{\Sigma 1}$ буде складати 2,4 кДж.

Проведеними дослідженнями визначено залежності струму, що протікає через електроди *I, A* (рис. 2) та потужності, що витрачається

на виробництво водню *P*, *Вт* (рис. 3) від часу накопичення водню *t*, *с* при різних значеннях робочої напруги *U*, *В*. Крайні праві точки усіх залежностей говорять про те, що за такий час отримано повний об'єм камери для водню, а саме $V = 20$ мл.

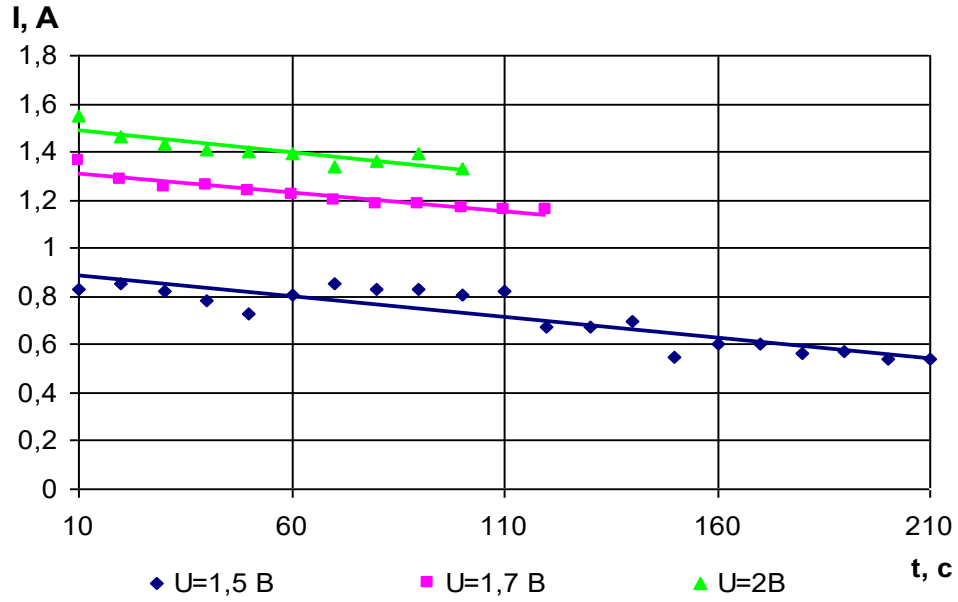


Рисунок 2. Залежність струму, що протікає через електроди *I*, *А* від часу накопичення водню *t*, *с*

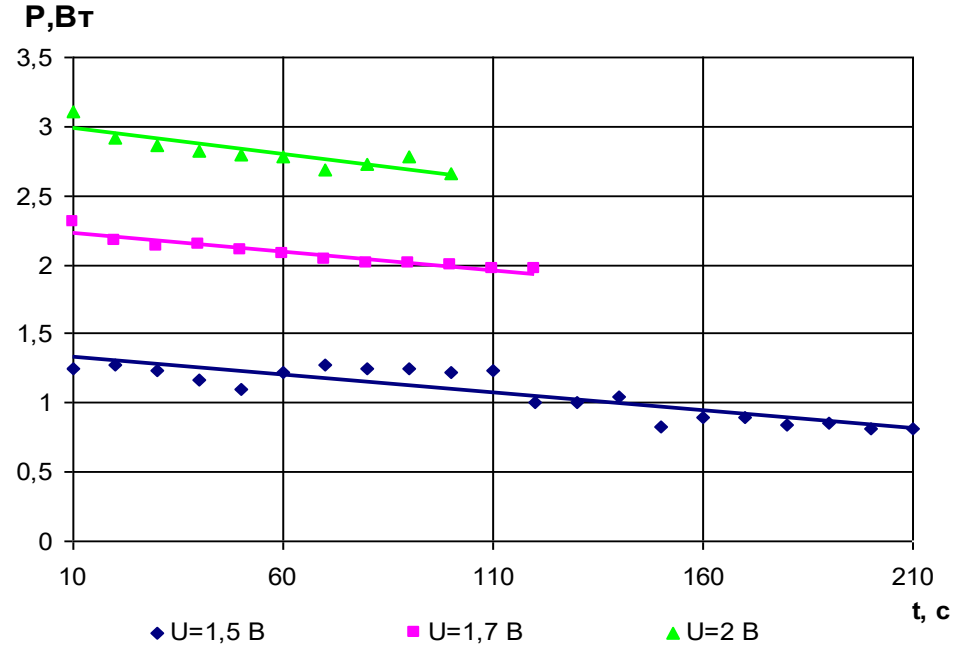


Рисунок 3. Залежність потужність, що витрачається на виробництво водню *P*, *Вт* від часу накопичення водню *t*, *с*

Аналізом залежностей (рис. 2 та 3) встановлено, що час накопичення водню у камеру об’ємом $V = 20$ мл зменшуються при

збільшені робочої напруги процесу отримання водню. Так, при робочій напрузі $U = 1{,}5\,\text{В}$, час, за який наповнюється камера об'ємом $V = 20\,\text{мл}$, складає $t = 210\,\text{с}$; при $U = 1{,}7\,\text{В}$, $t = 120\,\text{с}$; при $U = 2{,}0\,\text{В}$, $t = 100\,\text{с}$. Окрім цього виявлено, що в процесі накопичення водню, споживання струму, що протікає через електроди електролізера, а відповідно і споживана ним потужність зменшується при будь-якій робочій напрузі. Це пояснюється зменшенням в процесі електролізу площі контакту води з електродами електролізера.

Із збільшенням робочої напруги процесу, відбувається збільшення споживання струму, що протікає через електроди електролізера (рис. 2) та, відповідно з урахуванням формул (2), споживаної потужності (рис. 3). Такий стан речей враховуючи формули (1-4) надає можливість зробити висновок про зменшення коефіцієнта корисної дії установки із збільшенням робочої напруги. Так, встановлено, що при робочій напрузі $U = 1{,}5\,\text{В}$, сумарна витрата електричної енергії на виробництво водню складає $W_{\Sigma 2} = 224{,}4\,\text{Дж}$; при $U = 1{,}7\,\text{В}$, $W_{\Sigma 2} = 252{,}3\,\text{Дж}$; при $U = 2{,}0\,\text{В}$, $W_{\Sigma 2} = 281{,}2\,\text{Дж}$. Тоді, енергоефективність для відповідної напруги буде складати $\eta = 90{,}7\%$, $\eta = 89{,}5\%$ та $\eta = 88{,}3\%$.

Рівняння регресії отриманих залежностей (рис. 2 та 3) мають вигляд:

- при $U = 1{,}5\,\text{В}$ з обмеженнями $10 \le t \le 210$

$$I = -0{,}0017t + 0{,}9;\ P = -0{,}0026t + 1{,}35; \qquad (5)$$

- при $U = 1{,}7\,\text{В}$ з обмеженнями $10 \le t \le 120$

$$I = -0{,}0016t + 1{,}323;\ P = -0{,}0026t + 2{,}248; \qquad (6)$$

- при $U = 2{,}0\,\text{В}$ з обмеженнями $10 \le t \le 100$

$$I = -0{,}0018t + 1{,}507;\ P = -0{,}0037t + 3{,}015; \qquad (7)$$

Висновки. В результаті проведених досліджень встановлено наступне:

1. Зі збільшенням робочої напруги скорочується час накопичення водню визначеного об'єму. Так, при $U = 1{,}5\,\text{В}$, час, за який наповнюється камера для водню об'ємом $V = 20\,\text{мл}$, складає $t = 210\,\text{с}$; при $U = 1{,}7\,\text{В}$, $t = 120\,\text{с}$; при $U = 2{,}0\,\text{В}$, $t = 100\,\text{с}$.

2. Виявлено вплив робочої напруги на споживання струму, що протікає через електроди електролізера і споживана ним потужність,

значення яких збільшуються із збільшенням робочої напруги. Відповідно коефіцієнт корисної дії (к.к.д.) в електролізерах із застосуванням електролітичної мембрани зменшується із збільшенням робочої напруги. При робочій напрузі $U = 1{,}5\,\text{В}$, енергоефективність складає $\eta = 90{,}7\%$; при $U = 1{,}7\,\text{В}$, $\eta = 89{,}5\%$ та при $U = 2{,}0\,\text{В}$, $\eta = 88{,}3\%$.

Список використаних джерел

1. Lewis N. S., Nocera D. G. Powering the planet: Chemical challenges in solar energy utilization. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2006. Vol. 103, pp. 15729−15735.

2. Дуников Д.О. Водородные энергетические технологии. Материалы семинара лаборатории ВЭТ ОИВТ РАН: сб. науч. тр. М.: ОИВТ РАН, 2017.Вып. 1. 190 с.

3. Wirkert F. J., Roth J., Jagalski S., Neuhaus P., Rost U., Brodmann M. A modular design approach for PEM electrolyser systems with homogeneous operation conditions and highly efficient heat management. *Intern. J. Hydrogen Energy*. 2020. Vol. 45. Iss. 2. P. 1226–1235. https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.185.

4. Chang W. J., Lee K.-H., Ha H., Jin K., Kim G., Hwang S.-T., Lee H., Ahn S.-W., Yoon W., Seo H., Hong J. S., Go Y. K., Ha J.-I., Nam K. T. Design principle and loss engineering for photovoltaic–electrolysis cell system. *ACS Omega*. 2017. Vol. 2. Iss. 3. P. 1009–1018. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b00012.

5. Кузнецов Н.П., Лысенко О.В., Чебанов А.Б. Модель потребления электрической энергии для энергосистем Украины различного уровня локальности. *Проблемы региональной энергетики.* 2019. Вып. №3(44) С. 31-42. DOI: https://doi.org/10.5281/zenodo.3562195.

6. Gahleitner G. Hydrogen from renewable electricity: An international review of power-to-gas pilot plants for stationary applications. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2013. Vol. 38, pp. 2039−2061.

7. Gratzel M. Photoelectrochemical cells. Nature. 2001. Vol. 414, pp. 338−344.

8. Cox C. R., Lee J. Z., Nocera D. G., Buonassisi T. Ten-percent solar-to-fuel conversion with nonprecious materials. *Proc. Natl. Acad. Sci.* U.S.A. 2014. Vol. 111, pp. 14057−14061.

9. Ситнюк Г.О., Ночніченко І.В., Костюк Д.В., Мирончук В.С., Електроліз як актуальний спосіб отримання альтернативного палива водню. *Прикладна геометрія, дизайн, об'єкти інтелектуальної власності та інноваційна діяльність студентів та молодих вчених:* Матер VII Всеукр. науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених. 2018. м. Київ: С. 115-119.

10. Peharz G., Dimroth F., Wittstadt U. Solar hydrogen production by

water splitting with a conversion efficiency of 18%. *Int. J. Hydrogen Energy*, 2007. Vol. 32, pp. 3248−3252.

11. Шевченко А.А., Зіпунніков М.М., Котенко А.Л., Чорна Н.А. Дослідження електролізного процесу отримання водню і кисню при послідовному і паралельному підключенні електродів. *Проблеми машинобудування*. 2020. Т. 23, № 4.

12. Добровольский Ю.А. и др. Протонно-обменные мембраны для водородно-воздушных топливных элементов. *Журнал росийского химического общества имени Д.И. Менделева*. 2006. Т1, №6. С.95-104.

13. Nocera D. G. The artificial leaf. Acc. Chem. Res. 2012, Vol. 45, pp. 767− 776.

14 Felgenhauer M., Hamacher T. State-of-the-art of commercial electrolyzers and on-site hydrogen generation for logistic vehicles in South Carolina // *International Journal of Hydrogen Energy*. 2015. Т. 40. № 5. С. 2084-2090.

15. Кривцова В.И., Левтеров А.А. Грушко А.И. Анализ пожаровзрывобезопасности систем хранения и подачи водорода на основе реакций самораспространяющегося высокотемпературного синтеза интерметаллидов. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2006. Вип. 3. С. 145-151.

16. Васильковський О.М., Лещенко С.М., Васильковська К.В., Петренко Д.І. Підручник дослідника. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. 2016. Кіровоград, 204 с.

I. Nazarenko, V. Ikonikov. A. Chebanov, S. Dubinina
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF THE PROCESS IN ELECTROLYSES WITH ELECTROLYTIC MEMBRANE

Summary

One of the most promising ways to develop hydrogen energy is based on the use of hydrogen produced by electrolysis, for example. Electrolysis is characterized by the simplicity of the technological scheme, the possibility of efficient use of renewable energy sources, the availability of raw materials and the relative ease of maintenance of power plants. However, a significant disadvantage of this electrochemical method of hydrogen production is the high energy consumption of the water decomposition process. The least energy-intensive is the electrolysis method using an electrolytic membrane, for example. In such a device, the rate of hydrogen evolution and energy efficiency of the process itself will depend on the voltage supplied to the cell. The search for optimal parameters is an urgent task of this work, as such data will provide an opportunity in serial cells to establish the highest energy efficiency of the process.

Therefore, the article is devoted to the study of energy efficiency of the electrolysis process in electrolyzers with an electrolytic membrane under the influence of electrical parameters. To establish these characteristics, an experimental setup was made, the necessary measuring equipment was used, research methods were developed and the

necessary calculation of the measured values was performed. As a result, the influence of the operating voltage on the current consumption flowing through the electrodes of the cell and the power consumed by it, the values of which increase with increasing operating voltage. It is established that the energy efficiency of the process in electrolyzers using an electrolytic membrane decreases with increasing operating voltage. At operating voltages of 1,5 V, 1,7 V and 2 V, the energy efficiency is 90,7%, 89,5% and 88,3%, respectively.

Key words: Electrolysis, cell, fuel cell, hydrogen, renewable energy sources.

И. П. Назаренко, В. Л. Иконников, А. Б. Чебанов, С. В. Дубинина
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА В ЭЛЕКТРОЛИЗЕРАХ С ЭЛЕКТРОЛИТИНОЙ МЕМБРАНОЙ

Аннотация

Статья посвящена исследованию энергоэффективности процесса электролиза в электролизерах с электролитической мембраной под влиянием электрических параметров. Для установления этих характеристик изготовлена экспериментальная установка, использовано необходимое измерительное оборудование, разработана методика проведения исследований и проведен необходимый расчет измеренных величин. В результате обнаружено влияние рабочего напряжения на потребление тока, протекающего через электроды электролизера и потребляемую им мощность, значения которых увеличиваются с увеличением рабочего напряжения. Установлено, что энергоэффективность процесса в электролизерах с использованием электролитической мембраны уменьшается с увеличением рабочего напряжения. При рабочем напряжении 1,5 В, 1,7 В и 2 В, энергоэффективность соответственно составляет 90,7%, 89,5% и 88,3%.

Ключевые слова: Электролиз, электролизер, топливный элемент, водород, возобновляемые источники энергии.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-37

УДК [631.371:621.3.002.5]:631.24

М. В. Постнікова, к.т.н. ORCID: 0000-0002-2025-6199
О. В. Ковальов, к.т.н. ORCID: 0000-0002-5822-5494
В. О. Петров, к.т.н. ORCID: 0000-0002-6399-9064
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: marina.postnikova@tsatu.edu.ua

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ РОБОЧИХ МАШИН ЗЕРНОПУНКТІВ

Анотація. У статті проведено дослідження завантаження енергетичного обладнання потокових ліній і окремих машин зернопунктів з ціллю забезпечення максимального використання робочих машин і скороченнях їх холостих ходів, що дозволить економити 8-10 % електроенергії.

На практиці електродвигуни іноді не мають повного завантаження. Це відбувається при неправильних розрахунках електропривода і недовантаження робочої машини. В обох випадках збільшуються питомі витрати електроенергії на одиницю корисної роботи. Дослідження ступеня завантаження енергетичного обладнання показали, що коефіцієнт завантаження енергетичного обладнання змінюється в широких межах: для стрічкового транспортера ЛТ-10 – 0,4…1,5, для очищувача вороху ОВП-20 – 0,7…1,2, для зернонавантажувачів ЗП-40, ЗПС-60 – 0,7…1,0.

Проведенні дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу очищення зерна.

Ключові слова: зернопункт, завантаження робочих машин, електропривод, питомі витрати електроенергії, економія електроенергії.

Постановка проблеми. Для нормального функціонування системи електропривода і автоматизації потокових ліній і окремих машин важливо забезпечити максимальне використання робочих машин і скорочення їх холостих ходів [1].

Робота асинхронних двигунів в режимі холостого ходу недоцільна внаслідок непродуктивних витрат електроенергії в самому двигуні і збільшення втрат в мережі живлення.

© М. В. Постнікова, О. В. Ковальов, В. О. Петров

В умовах експлуатації скорочення тривалості режиму холостого ходу асинхронних двигунів являється одним з шляхів економії електроенергії [2].

Тому питання підвищення повного завантаження електродвигунів для економії електроенергії є актуальними.

Аналіз останніх досліджень. В більшості раніше проведених дослідженнях головну увагу приділено технологічним питанням дороблювання зерна, а також режимам роботи машин.

Питання енергоємності процесів дороблювання зерна і зв'язок її з технологічними факторами в раніше проведених дослідженнях не розглядалися взагалі або носили другорядний характер.

Причому, в ряді випадків не враховувалася випадкова природа електричних навантажень, внаслідок цього характер взаємозв'язку між електроенергетичними показниками зернопунктів залишався не вивченим. Систематичне недовантаження електродвигунів на зернопунктах різко знижує важливі техніко-економічні показники.

Це недовантаження пояснюється тим, що в деяких машинах використовують потужні двигуни, які не відповідають робочій машині. Як вважають Soldatenko L. S., Hornishnyi O. V. [3] розрахунок потужності електродвигуна необхідно розглядати окремо з урахуванням закону руху робочих органів і їх двигуна.

Як вважає A. Abdel-Hadi [4] необхідно мати для цього максимум інформації про режими роботи електрообладнання. При цьому Jiang Sheng-Long [5] рекомендує застосовувати ефективну багатоцільову оптимізацію. Для більш досконалого очищення зерна Котов Б. І. [6, 7] і Soldatenko L. S., Ostrovkyi I. A. [8] пропонують застосовувати удосконалені конструкції зернонасіннєочисної техніки, які мають високі техніко-економічні показники.

Для енергозбереження та покращення техніко-економічних показників потокових ліній і окремих машин Kupchuk I. M., Solona O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. [9] рекомендують розробити математичну модель електроспоживання електроприводами. A Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O. [10] вважають, що необхідно додатково провести оптимізацію режимів роботи електрообладнання.

Крім вирішення цих питань, необхідно, вважає Gembicki J. [11], не забувати про актуальне завдання сьогодення – питання екології – викидів пилу при очищенні зерна.

Вивченням взаємозв’язку між енергетичними характеристиками технологічного обладнання при очищенні зерна займалися вчені в системі хлібоприймальних підприємств: В. І. Калінцев, М. М. Преображенський, Д. Г. Сегеда, П. П. Ястребов, а в сільському господарстві, для агрегатів, які випускає «Вороніжсільмаш»: В. В.

Громак, Н. А. Устименко, А. А. Гончаров, Г. І. Коршунова, О. П. Карпова, І. В. Киселиця [12]. Аналіз показав, що з енергетичних факторів, які найбільше впливають на електроспоживання, є коефіцієнт завантаження електродвигунів [13].

Формулювання цілей статті. Мета дослідження – проаналізувати завантаження робочих машин зернопунктів з ціллю забезпечення їх максимального використання і скорочення холостих ходів.

Основна частина. Більша частина спожитої електричної енергії витрачається на робочий процес технологічного обладнання, а решта витрачається на втрати в електродвигунах. Ефективність перетворення і використання електричної енергії визначається співвідношенням цих потужностей і залежить від коефіцієнта завантаження двигуна [14, 15].

Встановлено, що максимальна ефективність перетворення при мінімальних втратах в двигуні в усталеному режимі відповідає режимам роботи, при яких постійні втрати дорівнюють змінним [16].

Зниження загальних витрат енергії, поліпшення експлуатаційних показників робочих машин можливе за рахунок зниження втрат холостого ходу, зменшення загальних витрат енергії, а також за рахунок подальшого удосконалення конструкцій машин.

Збільшення середнього завантаження робочих машин знижує питомі витрати електроенергії. На рисунку 1 видно, що при зменшенні завантаження знижується ККД електродвигуна і особливо – робочої машини [17].

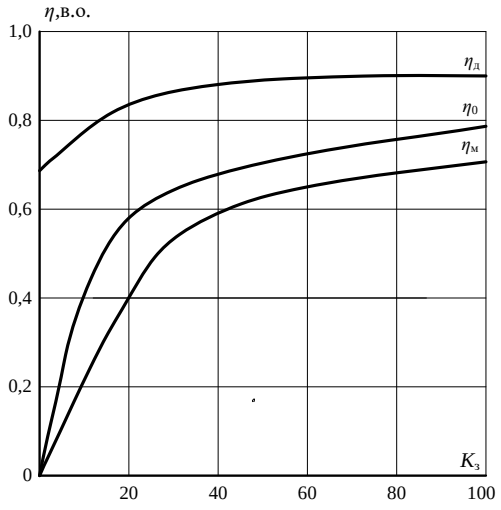


Рисунок 1. Залежність ККД робочої машини $\eta_м$, двигуна $\eta_д$ і всього привода η_0 від коефіцієнта завантаження $K_з$

Оскільки залежність ККД асинхронного електродвигуна від завантаження має екстремальний характер, який дозволяє варіювати завантаження в деяких межах, які не знижують ефективність перетворення електричної енергії, виникає задача визначення таких режимів роботи технологічного обладнання, при яких ефективність використання електроенергії буде найбільшою.

Для визначення економії електроенергії при збільшенні завантаження робочих машин необхідно визначити питомі витрати електроенергії.

Відносні питомі витрати електроенергії, віднесені до корисної роботи машини, визначають за формулою [17]

$$W = \frac{1}{\eta_{\text{м}} \cdot K_{\text{з}}} \cdot \left[K_{\text{з}} + \frac{\alpha \cdot (1 - \eta_{\text{мн}})}{K_{\text{т}}} \right],$$

де $\eta_{\text{м}}$ – ККД робочої машини;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження машини, $K_{\text{з}} = \frac{P_{\text{м}}}{P_{\text{мн}}}$;

$P_{\text{м}}$ – потужність, яку споживає робочий орган машини, кВт;

$P_{\text{мн}}$ – номінальна потужність робочої машини, кВт;

α – коефіцієнт, який залежить від типу і конструкції робочої машини, $\alpha = 0{,}7 - 0{,}9$;

$\eta_{\text{мн}}$ – ККД робочої машини при повному завантаженні;

$K_{\text{т}}$ – коефіцієнт використання робочої машини, $K_{\text{т}} = \frac{t_{\text{м}}}{t_{\text{м}} + t_{\text{х.х.}}}$;

$t_{\text{м}}$ – час корисної роботи машини, год;

$t_{\text{х.х.}}$ – час роботи на холостому ходу, год.

При відсутності холостого ходу $(K_{\text{т}} = 1)$ питомі витрати електроенергії

$$W' = \frac{K_{\text{з}} + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{мн}})}{\eta_{\text{м}} \cdot K_{\text{з}}}.$$

При максимальному використанні робочої машини, тобто при відсутності холостого ходу і повному завантаженні машини $(K_{\text{з}} = 1)$, питомі витрати електроенергії будуть мінімальними

$$W'' = \frac{1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{мн}})}{\eta_{\text{мн}}}.$$

Відношення $\beta = W' / W''$ визначає коефіцієнт підвищення питомих витрат електроенергії в залежності від завантаження і тривалості роботи в режимі холостого ходу

$$\beta = \frac{K_{\text{з}} \cdot K_{\text{т}} + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{мн}})}{\left[1 + \alpha \cdot (1 - \eta_{\text{мн}}) \cdot K_{\text{з}} \cdot K_{\text{т}} \right]}.$$

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 в заданий час.

Маючи характеристики електродвигуна і робочої машини можна визначити наступні показники:

1. Втрати енергії на холосте обертання машини.
2. Витрати енергії на виконання виробничої операції.
3. Загальну енергоємність операції, машини, процесу.
4. Ступінь досконалості машини, як відношення моментів завантаження і моментів статистичних опорів, які виникають внаслідок наявності холостих втрат.
5. Визначити оптимальну швидкість обертання машини з точки зору мінімальної енергоємності операції з урахуванням всіх факторів, які впливають на енергоємність.
6. Правильно визначити необхідний обертовий момент приводного двигуна, можливі завантаження.

Питанням втрат активної потужності в сучасних дослідженнях приділяються велика увага. Однак, окремо розглядаються як електродвигуни, так і робочі машини, Необхідно комплексно розглядати систему «електродвигун - робоча машина» [18, 19].

Як було досліджено, коефіцієнт завантаження працюючого електродвигуна

$$K_{\text{зед}} = \frac{\omega \cdot \left[M_0 + \left(M_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} - M_0 \right) \right]}{P_{2\text{н}}},$$

де ω – кутова швидкість робочої машини, рад/с;

M_0 – момент зрушення робочої машини, Н·м;

$M_{\text{н}}$ – номінальний момент електродвигуна, Н·м;

$K_{\text{з}}$ – коефіцієнт завантаження робочої машини;

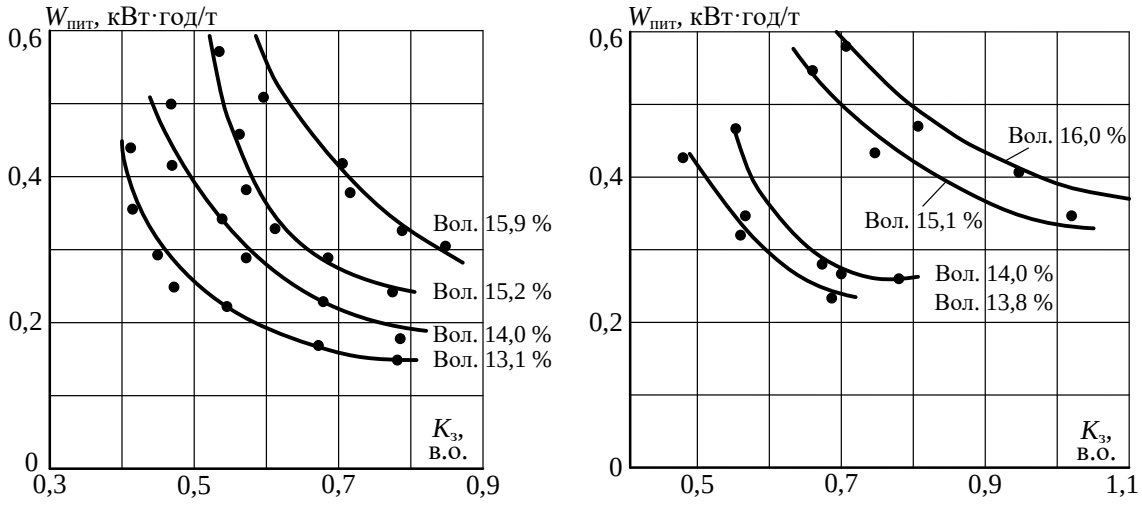
$P_{2\text{н}}$ – номінальна активна потужність електродвигуна, Вт.

Величина $\left(M_{\text{н}} \cdot K_{\text{з}} - M_0 \right) \cdot \omega$ представляє собою корисну активну потужність, а величина $M_0 \cdot \omega$ представляє собою активну потужність, яка витрачається на тертя.

Таким чином, вимірюючи кутову швидкість електродвигуна можна визначити, з одного боку – втрати активної потужності в робочій машині, а з другого – корисну активну потужність, яка споживається робочою машиною. За цими даними можна розрахувати коефіцієнт завантаження електродвигуна і втрати активної потужності в електродвигуні.

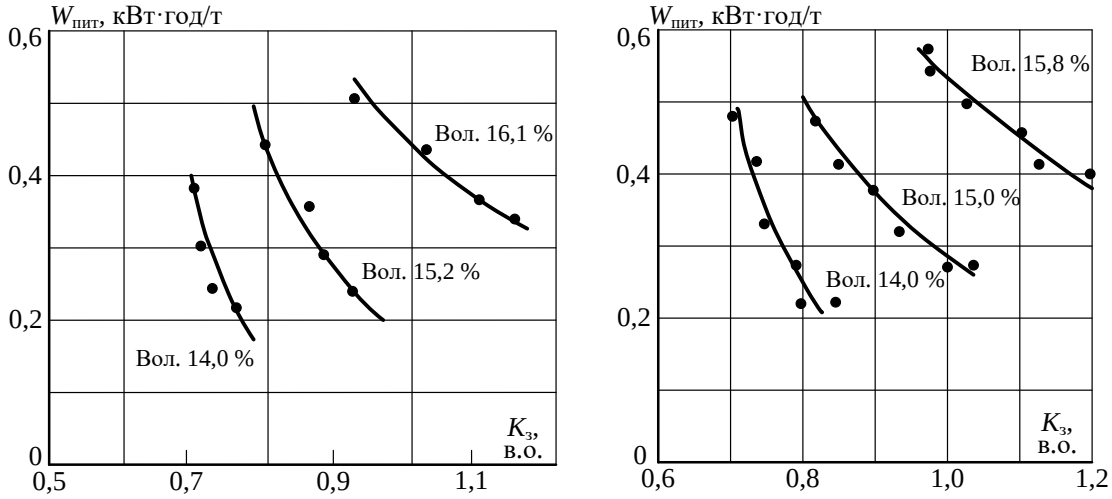
Дослідження ступеня завантаження енергетичного обладнання показали, що коефіцієнт завантаження енергетичного обладнання

змінюється в широких межах: для стрічкового транспортера ЛТ-10 – 0,4…1,5 (рис. 2), для зернонавантажувачів ЗПС-60 (рис. 3), ЗП-40 (рис. 4) – 0,7…1,0, для очищувача вороху ОВП-20 – 0,7…1,2 (рис. 5).



а) б)

Рисунок 2. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{пит}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні транспортером ЛТ-10: а) пшениці, б) ячменя



а) б)

Рисунок 3. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{пит}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні зернонавантажувачем ЗПС-60: а) пшениці, б) ячменя

При дослідженні було встановлено, що при переміщенні зерна стрічковим транспортером питомі витрати електроенергії будуть при роботі з легковісним зерном (ячмінь, рис) більші, ніж з ваговитим зерном (пшениця).

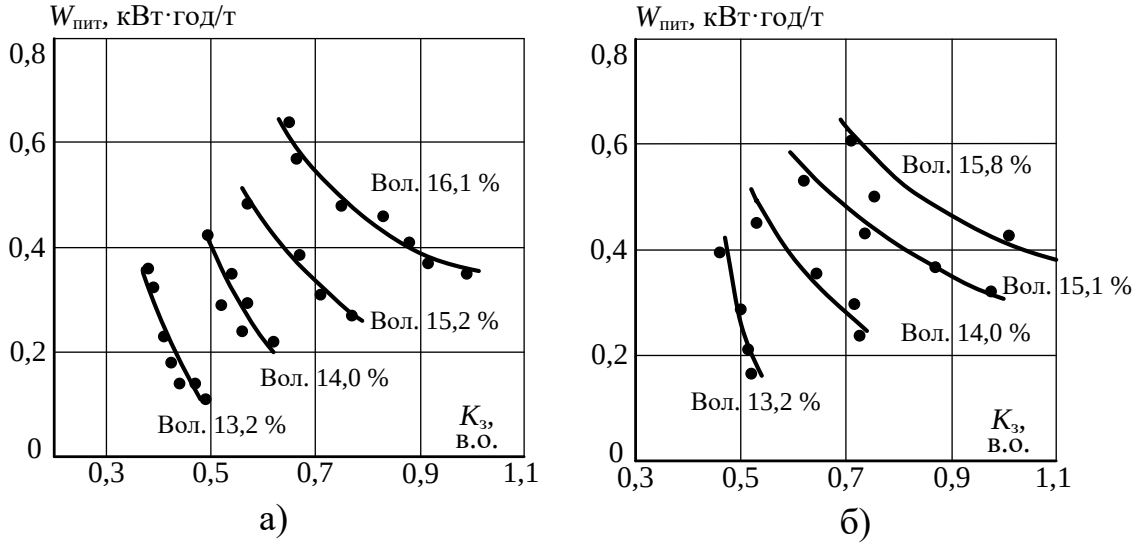


Рисунок 4. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{пит}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при транспортуванні зернонавантажувачем ЗП-40: а) пшениці, б) ячменя

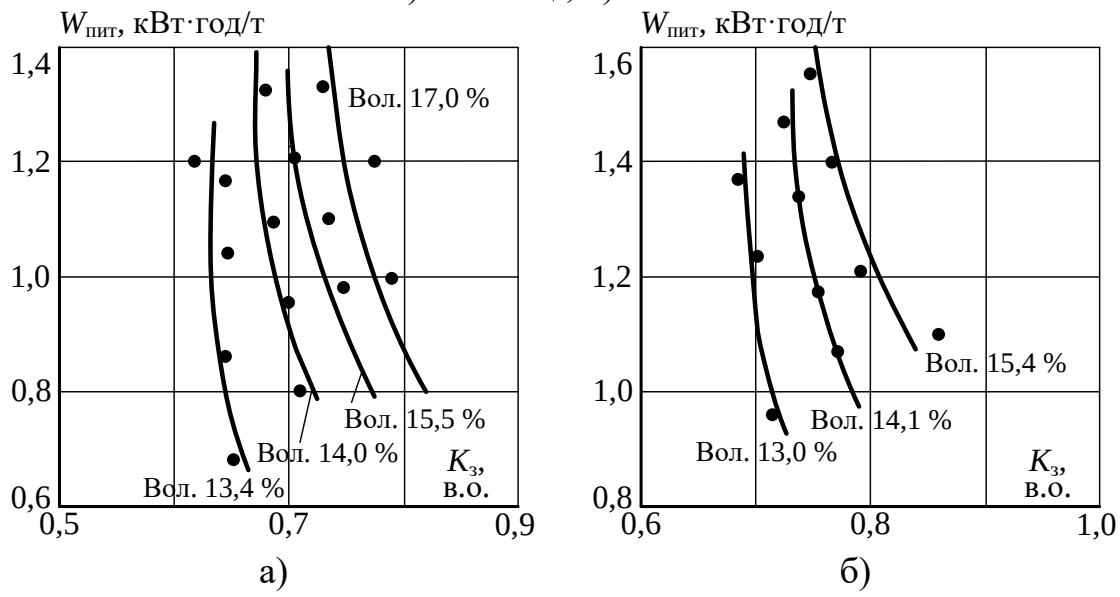


Рисунок 5. Залежність питомої витрати електроенергії $W_{пит}$ від коефіцієнта завантаження електродвигуна $K_з$ при очищенні на ОВП-20: а) пшениці, б) ячменя

Пояснюється це тим, що при транспортуванні більш важчого зерна коефіцієнт завантаження механізмів підвищується, а питомі витрати електроенергії знижуються.

Висновки. На основі експериментальних досліджень встановлено, що з фізико-механічних факторів найбільший вплив на електроспоживання надають вид культури і вологість зерна, а з енергетичних факторів – коефіцієнт завантаження електродвигунів.

Електродвигуни, які завантажені лише на 45 % номінальної потужності, доцільно замінити. При завантаженні більше 75 % номінальної потужності електродвигуни не замінюють. В межах 45…75 % номінальної потужності заміну проводять при підтвердженні розрахунком економічної доцільності такої операції.

Проведені дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу очищення зерна [12].

Список використаних джерел

1. Сорочинский В. Ф. Послеуборочная обработка и хранение зерна. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2003. № 1. С. 10-14.

2. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль, 2001. 984 с.

3. Soldatenko L. S., Hornishnyi O. V. Clarification of the methods used for calculating power of sieve separators. *Зернові продукти і комбікорми = Grain products and Mixed Fodder's*. 2018. Vol. 18, № 1.4. P. 47-50.

4. Study of energy saving analysis for different industries / A. Abdel-Hadi et al. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*. 2021. Vol. 143, № 5. DOI: 10.1115 /1.4048249.

5. Jiang Sheng-Long, Zhang Long. Energy-Oriented Scheduling for Hybrid Flow Shop with Limited Buffers Through Efficient Multi-Objective Optimization. *IEEE ACCESS*. 2019. Vol. 7. P. 34477-34487. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2904848.

6. Котов Б. І. Перспективи розвитку конструкцій зернонасіннєочисної техніки. *Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин*. Кіровоград, 2001. Вип. 31. С. 110-112.

7. Котов Б. І., Степаненко М. Г., Пастушенко М. Г. Тенденції розвитку конструкцій машин та обладнання для очищення і сортування зерноматеріалів. *Конструювання, виробництво та експлуатація с.-г. машин*. Кіровоград, 2003. Вип. 33. С. 53-59.

8. Soldatenko L. S., Ostrovkyi I. A. Improvement of the collector output device of the disk separators. *Зернові продукти і комбікорми = Grain Products and Mixed Fodder's*. 2019. Vol. 19, № 1.2. P. 48-50.

9. Kupchuk I. M., Solona O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. Verification of the mathematical model of the energy consumption drive for vibrating disc crusher. *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2018. Vol. 55, № 2. P. 111-118.

10. Postnikova M., Mikhailov E., Nesterchuk D., Rechina O. Energy Saving in the Technological Process of the Grain Grinding. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations.*

Cham: Springer International Publishing. 2019. P. 395-403. DOI: 10.1007/978-3-030-14918-5_41.

11. Gembicki J. Energy efficiency in the agricultural and food industry illustrated with the example of the feed production plant. *1st International Conference on the Sustainable Energy and Environment Development (Seed 2016)*. 2016. Vol. 10. № 00138. DOI: 10.1051/e3sconf/20161000138.

12. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Сер. Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика*. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

13. Назарьян Г. Н., Постникова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь: Люкс, 2012. 68 с.

14. Головнов А. Н. Как правильно выбрать зерноочистительную машину. *Техника и оборудование для села*. 2003. Июль. С. 20-23.

15. Чуйко Г. В., Олейников В. Д. Повышение технического уровня зерноочистительной техники. *Техника и оборудование для села*. 2003. Май. С. 8-10.

16. Дидур В. А., Масюткин Е. П., Масловский В. А. Научное обоснование удельных расходов электроэнергии при очистке зерна методом математического планирования эксперимента. *Праці інституту електродинаміки НАН України*. Київ, 2008. Вип. 19. С. 94-98.

17. Климова Г. Н. Электроэнергетические системы и сети. *Энергосбережение:* учебное пособие для прикладного бакалавриата. Москва: Юрайт, 2019. 179 с. URL: https://urait.ru/bcode/433943 (дата звернення: 01.10.2021).

18. Начинов Д. С. Совершенствование линий для послеуборочной обработки зерна. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005. № 1. С. 15-17.

19. Дринча В. П., Стягов В. С., Шахсаидов Б. И., Ратенков С. В. Проблемы и перспективы использования агрегатов ЗАВ и комплексов КЗС. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2002. № 3. С. 31-33.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2021 р.

M. Postnikova, O. Kovalov, V. Petrov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

RESEARCH OF LOADING OF POWER EQUIPMENT WORKING MACHINES GRAINS

Summary

One of the most urgent tasks of the XXI century is energy conservation, and the key point in this area is to control the efficiency of energy use. Based on experimental studies,

it was found that their physical and mechanical factors have the greatest influence on energy consumption by the type of crop and grain moisture, and from the energy factors - the load factor of the electric motors.

Research has been carried out on the loading of power equipment of production lines and individual machines of grain cleaning stations in order to ensure maximum use of working machines and reduce their idle runs, which will save 8-10 % of electricity. The operation of asynchronous motors in idle mode is impractical due to high consumption of electrical energy in the motor itself and an increase in losses in electrical networks. To determine the savings in electrical energy when loading working machines, the specific consumption of electrical energy was determined. In practice, motors are sometimes not fully loaded.

This happens with incorrect calculations of the electric drive and under loading of the working machine. In both cases, the specific consumption of electricity per unit of useful work increases. The study of the degree of utilization of power equipment showed that the load factor of power equipment varies within wide limits: for the belt conveyor LT-10 – 0,4...1,5 for the heap cleaner ОВП-20 – 0,7…1,2, for grain loaders ZP-40, VPP-60 – 0,7...1,0. The research carried out is of practical importance, as it is the basis for the development of scientifically grounded norms of power consumption of the technological process of grain cleaning.

***Key words*:** grain cleaning station, loading of working machines, electric drive, specific consumption of electrical energy, energy saving.

М. В. Постникова, А. В. Ковалёв, В. А. Петров
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРУЗКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ РАБОЧИХ МАШИН ЗЕРНОПУНКТОВ

Аннотация

Проведены исследования загрузки энергетического оборудования поточных линий и отдельных машин зернопунктов с целью обеспечения максимального использования рабочих машин и сокращениях их холостых ходов, что позволит экономить 8-10 % электроэнергии. На практике электродвигатели иногда не имеют полной загрузки. Это происходит при неправильных расчетах электропривода и недогрузки рабочей машины. В обоих случаях увеличиваются удельные расходы электроэнергии на единицу полезной работы.

Исследование степени загрузки энергетического оборудования показали, что коэффициент загрузки энергетического оборудования меняется в широких пределах: для ленточного транспортера ЛТ-10 – 0,4...1,5 для очистителя вороха ОВП-20 – 0,7...1,2, для зернопогрузчиков ЗП-40, ВПП-60 – 0,7...1,0.

Проведенные исследования имеют практическое значение, так как является основой для разработки научно-обоснованных норм электропотребления технологического процесса очистки зерна.

Ключевые слова: зернопункт, загрузка рабочих машин, электропривод, удельные расходы электроэнергии, экономия электроэнергии.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-38

УДК 621.331

О. І. Лобода, к.т.н. ORCID: 0000-0003-1532-336
Д. М. Нестерчук, к.т.н. ORCID: 0000-0003-1995-9564
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: oleksandr.loboda@tsatu.edu.ua

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ КОНТРОЛЮ СИЛОВИХ КАБЕЛЬНИХ ЛІНІЙ ДЛЯ НЕЧІТКОЇ СИСТЕМИ ОЦІНКИ СТАНУ ІЗОЛЯЦІЇ

Анотація. Розглянута можливість вдосконалення методології діагностування та моніторингу стану ізоляції силових кабельних ліній шляхом моделювання структури автоматизованого комплексу контролю для нечіткої системи оцінки стану ізоляції.

Обґрунтована структура автоматизованого комплексу, який містить блок первинних перетворювачів струму, блок контролю напруги та мікропроцесорний пристрій контролю ізоляції, при цьому об’єктом контролю є силова кабельна лінія.

Наведені структурна схема автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній та блок-схема операцій формування рішення блоком нечіткого логічного контролю. Зазначено, що використання апарату нечіткої логіки дозволяє більш повно врахувати всі механізми, що діють на ізоляцію навантажень, й всі зовнішні умови.

Для апаратної реалізації автоматизованого комплексу пропонується до застосування база на основі платформи Arduino. Наведена блок-схема алгоритму функціювання комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній та обґрунтовані місця підключення структурних блоків автоматизованого комплексу при контролі стану ізоляції кабельної лінії.

Встановлено, що впровадження запропонованої моделі автоматизованого комплексу контролю дозволить зменшити кількість та частоту аварійних ситуацій, подовжити термін служби силових кабельних ліній та підвищити їх експлуатаційну надійність.

Ключові слова: стан ізоляції, силова кабельна лінія, діагностування та моніторинг, автоматизований комплекс, структурна схема, блок нечіткого логічного контролю на базі мікроконтролеру, алгоритм функціювання, експлуатаційна надійність.

© О. І. Лобода, Д. М. Нестерчук

Постановка проблеми. В наш час в електричних мережах промислових підприємств значна частина силового електрообладнання, а саме, кабельні лінії та силові трансформатори, значно вичерпали свій нормативний термін служби, при цьому таке електрообладнання характеризується підвищеними втратами потужності у режимі неробочого ходу.

Аналіз існуючих методів діагностування силових кабельних ліній показує, що на даний час контроль технічного стану, в більшості випадків, відбувається під час проведення планових регламентних робіт, ремонтів за допомогою тестового діагностування, а також під час проведення енергетичних аудитів, як наслідок, виявлення дефектів, що зароджуються, та запобігання ушкодженню, аж до створення аварійної ситуації, стає неможливе.

Тому розробка системи оцінки технічного стану силових кабельних ліній є актуальною задачею, так як впровадження автоматизованої системи постійного й більш інформативного моніторингу та діагностики стану силового електрообладнання дозволяє підвищити надійність та ефективність експлуатації такого устаткування.

Аналіз останніх досліджень. В праці [1] зазначено, що діагностика й моніторинг силових кабелів - це визначення стану ізоляції і гарнітур кабельних ліній, на підставі чого приймається рішення щодо продовження експлуатації, ремонту або заміни кабелів. В порівнянні з випробуваннями кабелі майже не піддаються навантаженню, і тому не виникає пробою можливих слабких місць кабелю.

Вітчизняні та зарубіжні виробники випускають широкий спектр приладів і комплексів для діагностики кабельних ліній, що відрізняються за призначенням, за метрологічними характеристиками й точністю, при чому застосування мікропроцесорних приладів контролю дозволило підвищити точність вимірювань й достовірність результатів моніторингу. Слід відзначити, що в праці [2] розглянута доцільність використання інформаційно-вимірювальних систем і комплексів, які дозволяють збирати вимірювальну інформацію з первинних перетворювачів, обробляти та зберігати її, а також робити аналіз результатів моніторинг стану кабельних ліній з метою прийняття рішень щодо подальшої експлуатації. Автори зазначають, що інформація за даними інформаційно-вимірювальних систем й комплексів є достатньою і більш достовірною в порівнянні з даними, отриманими при діагностуванні виведеної з роботи силової кабельної лінії, але вимагає автоматизації процесів обробки і аналізу даних на основі використання експлуатаційного досвіду, а також отримання

об'єктивних оцінок стану ліній без участі персоналу й без впливу його кваліфікації.

Впровадження системи автоматизованого контролю стану ізоляції силових кабельних ліній з використанням в ній інтелектуальних методів на основі математичного апарату нечіткої логіки на основі змодельованих міркувань експертів, є ефективним шляхом у вирішенні проблеми підвищення надійності силових кабельних ліній в процесі експлуатації [3]. За думкою автора, так як обробка вимірювальної інформації орієнтується на комп'ютерні системи та обчислювальні алгоритми, тому можна стверджувати, що теорія нечіткої логіки та нечітких множин є однією з основ створення розумних електроенергетичних систем Smart Grid [3].

В працях [4, 5] детально здійснений аналіз результатів дослідження процесу теплового зношування ізоляції силового кабелю та визначено, що теплове зношування ізоляції кабелю, E_{Ti}, описується аналітичною залежністю

$$E_{Ti} = \int_0^{t_i} \varepsilon^{B\left(\frac{1}{\Theta_H} - \frac{1}{\tau_y^{-\frac{t}{T}} + \vartheta_{cep} + 273}\right)} dt, \qquad (1)$$

де ε – фактична швидкість теплового зношування ізоляції;

B – коефіцієнт, що характеризує клас ізоляції кабелю;

Θ_H – номінальна температура оболонки кабелю;

τ_y – усталене перевищення температури ізоляції оболонки кабелю;

T – постійна часу нагрівання кабелю;

ϑ_{cep} – поточне значення температури навколишнього середовища.

Усталене перевищення температури ізоляції оболонки кабелю визначається за виразом

$$\tau_y = \tau_H \cdot \frac{\kappa_i^2}{1 - \alpha \cdot \tau_H \cdot \left(\kappa_i^2 - 1\right)}, \qquad (2)$$

де τ_H – номінальне перевищення температури ізоляції оболонки кабелю;

α – температурний коефіцієнт опору матеріалу жил кабелю;

κ_i^2 – квадрат кратності струму, як квадрат відношення фактичного та тривало допустимого струму кабелю згідно [6].

При температурі, що дорівнює тривало допустимій температурі ізоляції оболонки, теплове зношування можна вважати прийнятним. У випадку перевищення величини фактичної температури ізоляції

величини тривало допустимої температури теплове старіння ізоляції відбувається більш інтенсивно. При перевищенні фактичної температури ізоляції величини максимально допустимої температури стрімко пошкоджується ізоляція, що й призводить до її пробою.

Тому, як параметр діагностики та моніторингу процесу теплового зношування ізоляції кабелю, приймається квадрат кратності струму, що передається по силовому кабелю [6].

Формулювання цілей статті.

Метою дослідження було обґрунтування структури автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції силових кабельних ліній на основі цифрової технології, який повинен забезпечувати збір і раціональне використання вимірювальної інформації про параметри діагностики та моніторингу, що характеризують стан ізоляції контрольованих силових кабельних ліній.

Основна частина. Авторами пропонується модель автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній, яка містить структурні блоки згідно структурної схеми контролю з нечітким логічним контролером [3], при цьому об'єктом контролю є силова кабельна лінія (рис.1).

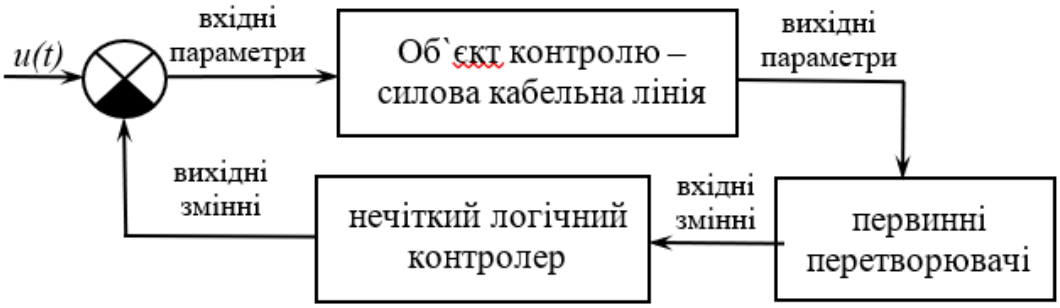


Рисунок 1. Структурна схема контролю з нечітким логічним контролером

На рисунку 2 наведена схема структурна автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній.

До складу автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній входять блок первинних перетворювачів струму (БППС), блок контролю напруги (БКН) та мікропроцесорний пристрій контролю ізоляції (МПКІ), який містить:

- блок прийому та обробки вимірювальної інформації з БППС (БПОІ);
- блок нечіткого логічного контролю (БНЛК)на базі мікроконтролеру (МК);
- блок цифрової індикації (БЦІ);

- комунікаційний порт для зв’язку з пристроями зовнішньої пам’яті (КП);
- блок вводу даних контролю й налаштування (БВДтаН).

Розглянемо кожен блок автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній більш детально.

Складовими блоку первинних перетворювачів струму є вимірювальні трансформатори струму, які контролюють лінійні струми, що проходять по контрольованій кабельній лінії. Вимірювальні трансформатори струму через затискачі первинної обмотки підключаються до контрольованої кабельної лінії, а до затискачів вторинної обмотки вимірювальних трансформаторів струму підключаються блоки прийому та обробки вимірювальної інформації, які забезпечують перетворення вторинних струмів в аналоговий вимірювальний сигнал за напругою.

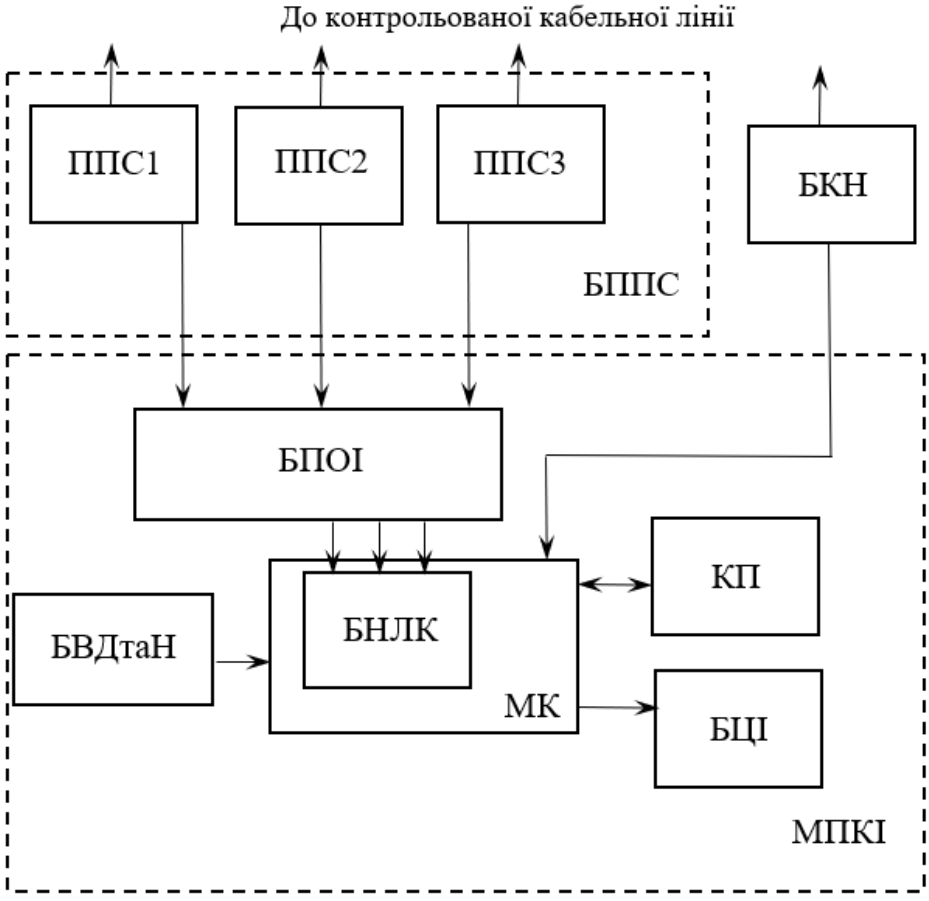


Рисунок 2. Схема структурна автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній

На процес теплового зношування ізоляції силового кабелю впливає температура її нагрівання при протіканні струмів, а саме, струмів навантаження, струму зворотної послідовності основної частоти, струму вищих гармонік з частотою більш, ніж 50 Гц. За

теоретичними положеннями, що наведені [7, 8, 9], причиною виникнення в контрольованій кабельній лінії струмів зворотної, I_2, та нульової, I_0, послідовностей є несиметричний характер навантаження, при цьому найбільших значень несиметрія напруг сягає в місті підключення несиметричного навантаження.

Тому, поява струмів зворотної та нульової послідовностей однозначно пов'язана з процесами, що протікають в ізоляції силової кабельної лінії, що й дозволить мати додаткову інформацію для оцінки її стану в процесі експлуатації.

Аналітичні вирази для розрахунку величин лінійних струмів при несиметричному навантаженні, що живиться силовою кабельною лінією, мають вигляд [9]

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2; \qquad \dot{I}_B = a^2 \cdot \dot{I}_1 + a \cdot \dot{I}_2; \qquad \dot{I}_C = a \cdot \dot{I}_1 + a^2 \cdot \dot{I}_2, \tag{3}$$

де $\dot{I}_A$, $\dot{I}_B$, $\dot{I}_C$ - комплекси лінійних струмів; $\dot{I}_1$ - комплекс струму прямої послідовності; $\dot{I}_2$ - комплекс струму зворотної послідовності; a – оператор трифазної системи.

Якщо визначити суму векторів струму усіх послідовностей для кожної фази, то запис струмів фаз через величини струмів прямої, I_1, зворотної, I_2, та нульової, I_0, послідовностей й кутів зсуву фаз для прямої, зворотної та нульової послідовностей , φ_1, φ_2, φ_0, відповідно, буде мати вигляд

$$\dot{I}_A = \dot{I}_{A1} + \dot{I}_{A2} + \dot{I}_{A0} = I_1 e^{j(0+\varphi_1)} + I_2 e^{j(0+\varphi_2)} + I_0 e^{j\varphi_0}; \tag{4}$$

$$\dot{I}_B = \dot{I}_{B1} + \dot{I}_{B2} + \dot{I}_{B0} = I_1 e^{j\left(-\frac{2\pi}{3}+\varphi_1\right)} + I_2 e^{j\left(\frac{2\pi}{3}+\varphi_2\right)} + I_0 e^{j\varphi_0}; \tag{5}$$

$$\dot{I}_C = \dot{I}_{C1} + \dot{I}_{C2} + \dot{I}_{C0} = I_1 e^{j\left(\frac{2\pi}{3}+\varphi_1\right)} + I_2 e^{j\left(-\frac{2\pi}{3}+\varphi_2\right)} + I_0 e^{j\varphi_0}; \tag{6}$$

$$\dot{I}_N = \dot{I}_A + \dot{I}_B + \dot{I}_C = 3 \cdot I_0 e^{j\varphi_0}, \tag{7}$$

де $\dot{I}_N$ - комплекс струму в нульовому проводі.

При виникненні струмів зворотної та нульової послідовностей необхідно контролювати напругу хоча б однієї з фаз щодо нульового проводу, тому пропонується застосувати подільник напруги, з виходу якого буде подаватися електричний сигнал на вхід мікропроцесорного пристрою контролю ізоляції (рис.3).

Доцільність застосування блоку нечіткого логічного контролю пояснюється новизною та кращою стійкістю, ніж традиційні регулятори [10, 11], при цьому нечітка логіка функціонує за

принципами фазіфікації (перетворення на нечіткий формат), обробки даних та дефазіфікації [12, 13].

На рисунку 3 наведена блок-схема операцій формування рішення блоком нечіткого логічного контролю.

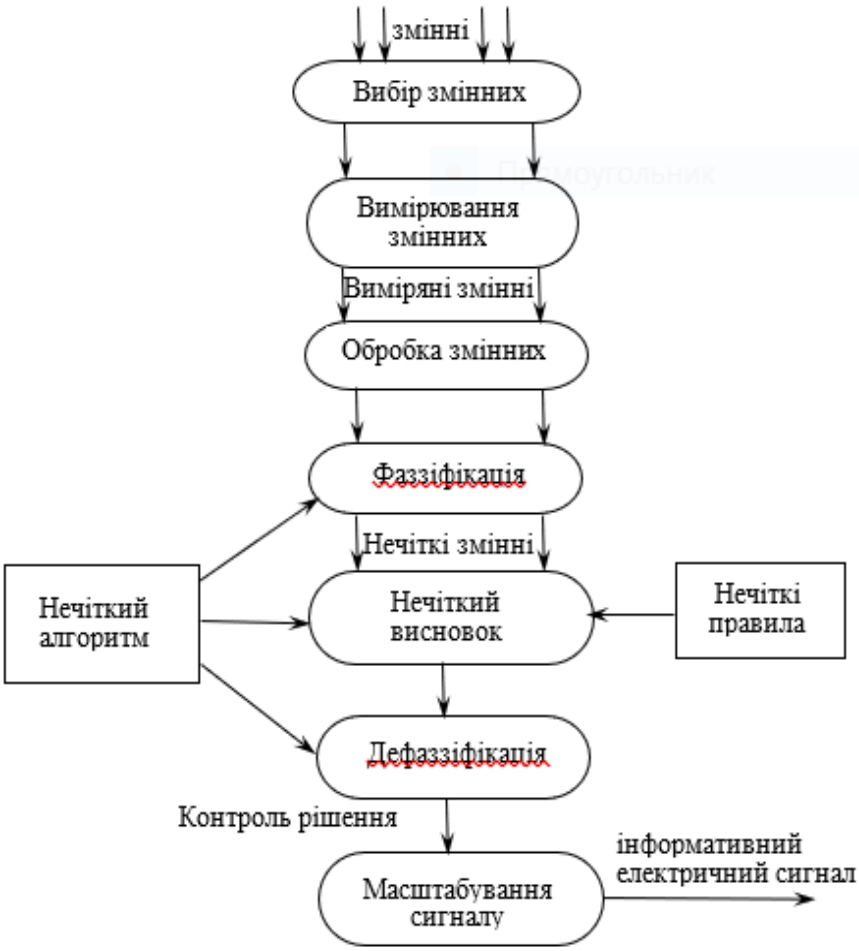


Рисунок 3. Блок-схема операцій формування рішення блоком нечіткого логічного контролю

Стан ізоляції безпосередньо впливає на надійність роботи електроустановок та надійність електропостачання в цілому. При вирішенні таких завдань використання апарату нечіткої логіки, який дозволяє більш повно врахувати всі механізми, що діють на ізоляцію навантажень і зовнішніх умов, виявляється дуже ефективним.

Блок нечіткого логічного контролю на базі мікроконтролеру містить пристрій сполучення мікроконтролера з об‘єктом керування – аналого-цифровий перетворювач (АЦП) та цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП). Авторами пропонується практично реалізувати блок нечіткого логічного контролю на базі сучасних мікроконтролерах AVR корпорації Atmel, Atmega 323, так як мікроконтролери сімейства AVR відрізняються високою швидкодією і низьким енергоспоживанням.

Для апаратної реалізації автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній пропонується до застосування база на основі платформи Arduino, що є інструментом для проектування електронних пристроїв, що більш щільно взаємодіють з навколишнім фізичним середовищем, ніж стандартні персональні комп'ютери, які фактично не виходять за рамки віртуальності. Така платформа здійснює фізичні обчислення з відкритим програмним кодом та побудована на простій друкованій платі з сучасним середовищем і програмним забезпеченням [14]. Мікроконтролери AVR плат Arduino мають шестиканальний АЦП, що виконаний на послідовному наближенні з аналоговим комутатором, при чому дозвіл такого перетворювача становить 10 біт, тобто забезпечує отримання на його виході 2^{10} значень [10]. Для проведення вимірювань аналогових електричних сигналів в пристроях на основі плат Arduino програмними засобами виконується підключення комутатору до обраного аналогового входу плати, а потім створюється керуючі сигнали для роботи аналого-цифрового перетворювача АЦП, після завершення перетворення на якому виставляється відповідний цифровий сигнал.

Мікропроцесорний пристрій контролю ізоляції, як складова частина автоматизованого комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній, здійснює розпізнавання несправностей кабельної лінії й надає рекомендації для реалізації подальших дій.

На рисунку 4 наведена блок-схема алгоритму функціювання комплексу контролю стану ізоляції кабельних ліній, що забезпечує автоматизоване діагностування стану ізоляції контрольованих кабельних ліній. Блоки первинних перетворювачів струму (БППС) та контролю напруги (БКН) й мікропроцесорний пристрій контролю ізоляції (МПКІ) встановлюються на початку кабельної лінії та на її кінцевій ділянці. На початку лінії вирішується питання компенсації впливу опору ізоляції приєднання, яке живить контрольована кабельна лінія. В цьому випадку виникнення струмів зворотної та нульової послідовності в контрольованій лінії буде однозначно пов'язане з процесами, що протікають в її ізоляції, і дозволить мати додаткову інформацію для оцінки її стану.

При однаковому стані ізоляції лінії і приєднання не можна однозначно встановити джерело появи даних струмів.

Для вирішення цієї проблеми пропонується використовувати блоки розробленого комплексу й на кінцевій ділянці кабельної лінії.



Рисунок 4. Блок-схема алгоритму функціювання

*Висновки***.** Запропонована модель автоматизованого комплексу контролю силових кабельних ліній для нечіткої системи оцінки стану ізоляції дозволить підвищити експлуатаційну надійність силових кабельних ліній в процесі експлуатації.

Список використаних джерел

1. Євтух П. С., Михайлов О. В., Вакуленко О. О. Діагностика силових кабельних ліній, особливості та проблеми, що виникають під час експлуатації. *Актуальні задачі сучасних технологій*: матеріали IV Міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (м. Тернопіль, 25-26 листопада 2015 р.). Тернопіль, 2015. С. 117-118.

2. Теоретичні основи інформаційно-вимірювальних систем: підручник / В. П. Бабак та ін.; за ред. В. П. Бабака. Київ: Ун-т новітніх технологій НАУ, 2017. 496 с.

3. Кирик В. В. Математичний апарат штучного інтелекту в електроенергетичних системах: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Політехніка, 2019. 224 с.

4. Овчаров В. В. Эксплуатационные режимы работы и непрерывная диагностика электрических машин в сельскохозяйственном производстве. Киев: УСХА, 1990. 168 с.

5. Зализный Д. И., Прохоренко С. Н. Математическая модель тепловых процессов силового одножильного кабеля. *Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого*, 2012. № 3. С. 25-34.

6. Правила улаштування електроустановок. Київ: Видавництво Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

7. Овчаров В. В. Теоретичні основи електротехніки. Мелітополь: Люкс, 2007. Ч. 2. 215 с.

8. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: учебник. Москва: Гардарики, 2007. 701 с.

9. Попова І. О., Нестерчук Д. М., Попрядухін В. С. Аналіз впливу несиметричних навантажень на режими роботи трифазного асинхронного електродвигуна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. *Технічні науки*. Харків, 2017. Вип. 186: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 85-87.

10. Кондратець В. О., Кропивка В. В., Когай В. О. Використання нечітких регуляторів при автоматичному керуванні технологічними процесами. *Автоматика, комп'ютерно-інтегровані технології та проблеми енергоефективності в промисловості і сільському господарстві (АКІТ-2018)*: Матеріали міжнар. наук.-практ. Інтернет-конф. Кропивницький, 2018. С. 39-40.

11. Лобода О. І. Нечіткі адаптивні ПІД-регулятори та методика їх настроювання. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2017. Вип. 7, т. 1. С. 162-167.

12. Tanaka K., Wang H. O. Fuzzy Control System Design and Analysis: A Liner Matrix Ineguality Approach. New York: John Wiley & Sons, Inc., 2001. 305 p.

13. Von Altrock C. Fuzzy Logic and Neuro Fuzzy Applications Explaned. Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall PTR, 1995. 368 p.

14. Петин В. А. Проекты с использованием контроллера Arduino. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2014. 400 с.

Стаття надійшла до редакції 30.11.2021 р.

A. Loboda, D. Nesterchuk
Dmytro Motornyi Tavria state agrotechnological university

AUTOMATED COMPLEX MODEL CONTROL OF POWER CABLE LINES FOR FUZZY EVALUATION SYSTEM INSULATION STATES

Summary

The possibility of improving the methodology of diagnosing and monitoring the insulation condition of power cable lines by modeling the structure of the automated control system for a fuzzy insulation assessment system is considered.

The structure of the automated complex is substantiated, which contains a block of primary current converters, a voltage control unit and a microprocessor device for insulation control, and the object of control is a power cable line.

The block diagram of the automated complex of control of a condition of isolation of cable lines and the block diagram of operations of formation of the decision by block of fuzzy logical control is resulted. It is noted that the use of fuzzy logic allows to take more fully into account all the mechanisms acting on the insulation of loads and all external conditions.

For hardware implementation of the automated complex the base on the basis of the Arduino platform is offered for application. The block diagram of the algorithm of functioning of the complex of control of a condition of isolation of cable lines and the places of connection of structural blocks of the automated complex at control of a condition of isolation of a cable line are proved. It is established that the introduction of the proposed model of automated control system will reduce the number and frequency of emergencies, extend the service life of power cable lines and increase their operational reliability.

***Key words*:** insulation condition, power cable line, diagnostics and monitoring, automated complex, block diagram, fuzzy logic control unit based on microcontroller, operation algorithm, operational reliability.

А. И. Лобода, Д. Н. Нестерчук
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА КОНТРОЛЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ ДЛЯ НЕЧЕТКОЙ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

Аннотация

В статье рассмотрена возможность совершенствования методологии диагностирования и мониторинга состояния изоляции силовых кабельных линий

путем моделирования структуры автоматизированного комплекса контроля для нечеткой системы оценки состояния изоляции.

Обоснована структура автоматизированного комплекса, содержащая блок первичных преобразователей тока, блок контроля напряжения и микропроцессорное устройство контроля изоляции, при этом объектом контроля является силовая кабельная линия.

Приведены структурная схема автоматизированного комплекса контроля состояния изоляции кабельных линий и блок-схема операций формирования решения блоком нечеткого логического контроля. Отмечено, что использование аппарата нечеткой логики позволяет более полно учесть все механизмы, действующие на изоляцию нагрузок, и все внешние условия. Для аппаратной реализации автоматизированного комплекса предлагается к использованию база на базе платформы Arduino.

Приведена блок-схема алгоритма функционирования комплекса контроля состояния изоляции кабельных линий и места подключения структурных блоков автоматизированного комплекса при контроле состояния изоляции кабельной линии. Установлено, что внедрение предложенной модели автоматизированного комплекса контроля позволит уменьшить количество и частоту аварийных ситуаций, продлить срок службы силовых кабельных линий и повысить их эксплуатационную надежность.

***Ключевые слова*:** состояние изоляции, силовая кабельная линия, диагностирование и мониторинг, автоматизированный комплекс, структурная схема, блок нечеткого логического контроля на базе микроконтроллера, алгоритм функционирования, эксплуатационная надежность.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-39

УДК 621.316.929

І. О. Попова, к.т.н. ORCID: 0000-0001-5429-8269
О. В. Ковальов, к.т.н. ORCID: 0000-0002-5822-5494
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
e-mail: iryna.popova@tsatu.edu.ua, тел.: 0983765519

ВИЗНАЧЕННЯ НАПРУГИ ЗМІЩЕННЯ НЕЙТРАЛІ ЯК ДИАГНОСТИЧНОГО ПАРАМЕТРА РЕЖИМУ РОБОТИ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Анотація. В статті на основі аналізу несиметрії напруги мережі у розподільчих колах 0,38/0,22 кВ, що викликана великою довжиною ліній електропередачі, змішаним підключенням споживачів, визначено, що несиметричний режим є звичайним режимом мереж. Несиметрія напруг мережі проявляється у різкому погіршенню техніко-економічних характеристик АД (збільшення втрат електроенергії, підвищення нагріву їх складових частин), зниженню їх експлуатаційної надійності і скороченню терміну служби. В роботі аналітично досліджено можливість використання напруги зміщення нейтралі як діагностичного параметра роботи АД при несиметрії напруг мережі при різному ступені завантаження робочих машин. При дослідженні використаний метод симетричних складових трифазної системи величин, символічний метод аналізу електричних кіл і методи дослідження лінійних електричних кіл для розрахунку напруг АД, при несиметрії напруг в мережі через їх симетричні складові струмів і напруг прямої, зворотної та нульової послідовностей. Використані параметри спрощеної Г-подібної схеми заміщення для визначення комплексів повних опорів струмам прямої й зворотної послідовностей. Наведене аналітичне дослідження дозволяє провести розрахунок напруги зміщення нейтралі АД при несиметрії напруг мережі, фазних напруг і струмів, враховуючи механічну характеристику робочої машини, коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності та коефіцієнт завантаження робочої машини.

Ключові слова: несиметрія напруг, напруга зміщення нейтралі, діагностичний параметр, ковзання, момент навантаження.

Постановка проблеми. Велика аварійність асинхронних двигунів (АД) обумовлена особливостями експлуатації їх в агропромисловому

© І. О. Попова, О. В. Ковальов

комплексі, до специфічних умов якої слід віднести низьку якість напруги в мережі, зокрема, її несиметрію. Кожного року виходять з ладу 20-25 % працюючих в АПК АД [1]. Несиметрія напруг мережі у сільських розподільчих колах 0,38/0,22 кВ викликана великою довжиною ліній електропередачі та змішаним підключенням однофазних і трифазних споживачів. Тому несиметричний режим є звичайним режимом зазначених сільських мереж.

Несиметрія напруг мережі проявляється у різкому погіршенню техніко-економічних характеристик АД (збільшення втрат електроенергії, підвищення нагріву їх складових частин), зниженню їх експлуатаційної надійності і скорочення терміну служби. У переважній більшості випадків вихід з ладу асинхронних двигунів відбувається через пошкодження обмотки статора з причини підвищення фазних струмів, що призводить до значного збільшення швидкості теплового зносу їх ізоляції [2].

Аналіз останніх досліджень. В роботі [3] проаналізовано причини виходу з ладу асинхронних двигунів, працюючих при несиметричній напрузі мережі, при якій створюється обертальне еліптичне магнітне поле, вказано на виникнення вібрацій АД, додаткових втратах енергії в обмотках статора і ротора.

Експериментальне дослідження впливу напруги прямої послідовності на зниження номінальних характеристик АД при несиметричній напрузі приведені в [4], де вказується, що відхилення напруги від номінального значення веде до збільшення фазних струмів статора, збільшення втрат потужності АД, зменшення коефіцієнтів потужності, коефіцієнту корисної дії, збільшення перевищення температури ізоляції обмоток, зменшення строку служби АД.

В роботі [5] при проведені дослідження АД при анормальних умовах роботи використаний метод симетричних складових для розрахунку напруг і струмів споживачів, підключених до трифазної чотирипровідної колах при несиметрії напруг в мережі через їх симетричні складові струмів і напруг прямої, зворотної і нульової послідовностей. Ця методика може бути використана для розрахунку струмів у трифазних чотипровідних колах з включеними однофазними статичними споживачами. Методика [5] не враховує, що при зміні величини несиметрії напруги, можливі зміни параметрів електроспоживачів. Це має місце в АД і, відповідно, викликає зміни фазних струмів і напруг двигуна і мережі. В роботі представлена методика визначення параметрів АД при неповно фазному режимі. Але при визначенні параметрів фаз АД не враховується його коефіцієнт завантаження, хоча в залежності від коефіцієнта навантаження змінюється величина ковзання і, відповідно, параметри обмоток АД.

Аналізу впливу несиметрії напруги на роботу АД з відкритими і закритими пазами присвячена робота [6]. В ній проаналізовані впливи несиметричних режимів роботи АД при обриві фаз і ізольованій нейтралі обмоток статора АД, а також при обриві фаз і об'єднанні нульових точок джерела живлення і обмоток статора двигуна.

Про необхідність раннього діагностування несиметричних режимів трифазних АД для уникнення пошкодження обмоток статора йдеться мова в [7]. Але для діагностування аварійних ситуацій і пошкоджень треба мати обґрунтовані граничні значення несиметрії напруги, за межами яких виникає аварійний режим роботи АД.

Для цього треба вдосконалювати методики для визначення параметрів схем заміщення, визначення ковзання АД при обриві фази з урахуванням моменту опору робочої машини, приводом якої є АД. Слід відмітити, що при розрахунку величини ковзання, як правило, не враховується вид робочої машини (її механічна характеристика, а також коефіцієнт, що характеризує зміну моменту опору робочої машини при зміні швидкості) та технічні данні (момент опору при номінальній швидкості і момент опору робочої машини, не залежний від швидкості). Це впливає на точність розрахунку величини ковзання, параметрів двигуна, напруги зміщення нейтралі. Для того, щоб мати у своєму розпорядженні більш точні дані про режими роботи АД при несиметрії напруг мережі необхідно удосконалювати методи розрахунку параметрів обмоток і напруг. Таким чином, існуючі методики дослідження режимів роботи АД, дослідження фазних струмів і напруг, як правило, не враховують залежності їх від несиметрії напруги сільської мережі, завантаження робочих машин та особливостей їх механічних характеристик, зміни параметрів АД. Це обумовлено складнощами у визначені параметрів обмоток асинхронного двигуна [8].

Формулювання цілей статті (постановка завдання). В роботі поставлена задача аналітично дослідити можливість використання напруги зміщення нейтралі як діагностичного параметра роботи АД із короткозамкненим ротором при несиметрії напруг сільської мережі при різному ступені завантаження робочих машин.

Основна частина. При дослідженні нами використаний метод симетричних складових трифазної системи величин, символічний метод аналізу електричних кіл і методи дослідження лінійних електричних кіл для розрахунку напруг АД, при несиметрії напруг в мережі через їх симетричні складові струмів і напруг прямої, зворотної та нульової послідовностей. Досліджуване електричне коло складається з симетричного трифазного джерела ЕРС, симетричної лінії електропередачі (ЛЕП) з опорами $Z_{лA}$, $Z_{лB}$, $Z_{лC}$ та несиметричного навантаження з фазними опорами Z_a , $Z_в$, Z_c: статичного навантаження

(несиметричного побутового) і симетричного трифазного навантаження (досліджуваний і інші асинхронні двигуни) [8, 9] (рис. 1). Несиметрія напруг у споживача залежить від ступеню несиметрії напруг у конкретного двигуна, несиметрії струмів ЛЕП, яка з'єднує даний споживач із джерелом живлення. Слід відмітити, що найбільших значень несиметрія напруг досягає в місті підключення несиметричного навантаження.



Рисунок 1. Принципова схема трифазного кола з несиметричним навантаженням

Розглянемо випадок, коли до мережі підключено несиметричне навантаження, яке складається з несиметричного статичного навантаження і АД з короткозамкненим ротором (симетричного трифазного навантаження). Цій принциповій схемі електричного кола відповідає розрахункова електрична схема (рис. 2)

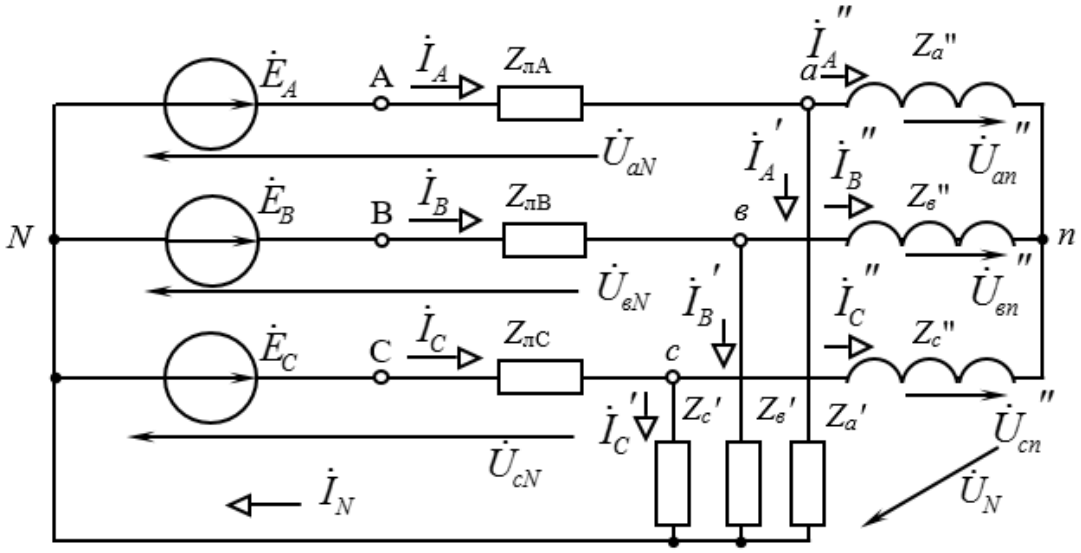


Рисунок 2. Розрахункова схема несиметричного кола

У досліджуваному колі проведено еквівалентне перетворення:

– несиметричне навантаження з фазними опорами Z_a', $Z_в'$, Z_c' і Z_a'', $Z_в''$, Z_c'' замінено на еквівалентне симетричне навантаження з фазними опорами $Z_{еа}$, $Z_{ев}$, $Z_{ес}$;

– симетрична ЛЕП з опорами $Z_{лA}$, $Z_{лB}$, $Z_{лC}$ замінена несиметричною ЛЕП з опорами $Z_{елA}$, $Z_{елB}$, $Z_{елC}$.

Розрахункова схема після еквівалентного перетворення електричного кола показана на рис. 3.

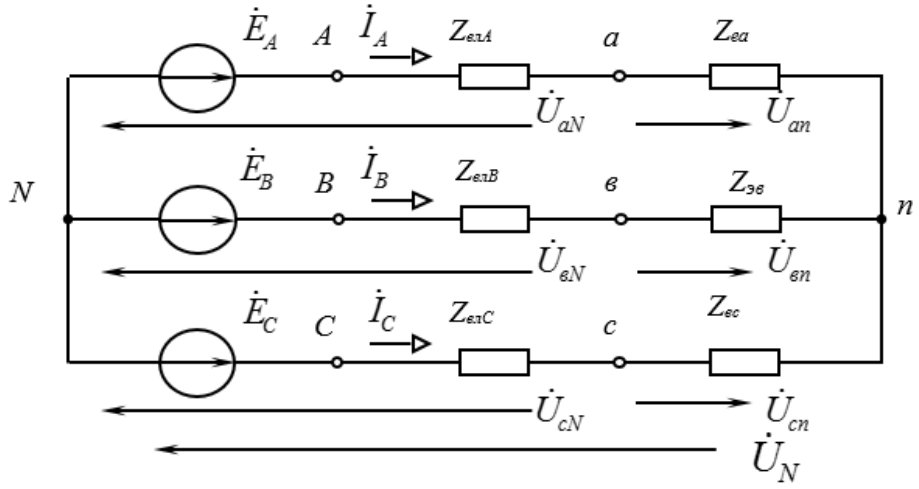


Рисунок 3. Розрахункова еквівалентна схема трифазного електричного кола

Приймемо ЕРС фази А симетричного джерела рівною номінальній фазній напрузі $U_н$ АД, обмотки статора якого з'єднані зіркою ($E_A = U_н$). Введено наступні позначення

$$\frac{\dot{U}_{aN}}{\dot{E}_A} = m; \quad \frac{\dot{U}_{вN}}{\dot{E}_B} = n; \quad \frac{\dot{U}_{cN}}{\dot{E}_C} = p; \qquad (1)$$

$$\frac{Z_{ад}}{Z_{еа}} = \alpha; \quad \frac{Z_{вд}}{Z_{ев}} = \beta; \quad \frac{Z_{сд}}{Z_{ес}} = \gamma, \qquad (2)$$

де $Z_{ад}$, $Z_{вд}$, $Z_{сд}$ – комплекси повних фазних опорів досліджуваного двигуна, Ом.

m, n, p – коефіцієнти, рівні відношенню U_{aN}, U_{bN}, U_{cN} до фазних ЕРС E_A, E_B, E_C, які більше нуля, але менше одиниці.

Опори несиметричної еквівалентної ЛЕП у залежності від несиметрії напруг мережі визначаються наступним чином [8]

$$Z_{елA} = \frac{Z_a(1-m)}{\alpha m}; \qquad Z_{елB} = \frac{Z_в(1-n)}{\beta n}; \quad Z_{елC} = \frac{Z_c(1-p)}{\gamma p}. \qquad (3)$$

Напруга зміщення нейтралі, струми і напруги у фазах АД залежать від несиметрії напруг мережі і повних опорів обмоток (прямої і зворотної послідовностей. Використав параметри спрощеної Г-

подібної схеми заміщення, комплекси повних опорів струмам прямої й зворотної послідовностей визначено таким чином [10]

$$Z_1 = \frac{Z_m(Z_s + Z_{r1})}{Z_m + Z_s + Z_{r1}}; \qquad Z_2 = \frac{Z_m(Z_s + Z_{r2})}{Z_m + Z_s + Z_{r2}}, \tag{4}$$

де повний опір намагнічуючого контуру Z_m, повний опір фази статору Z_s , опори фази ротору для прямої Z_{r1} і зворотної послідовності Z_{r2} визначаються за рівняннями

$$Z_m = r_1 + j(x_1 + x_\mu);\ Z_s = r_1' + jx_1';$$
$$Z_{r1} = r_2''/s + jx_2''\ Z_{r2};\ = r_2''/(2 - s) + jx_2''. \tag{5}$$

Повні опори фаз асинхронного двигуна є функцією ковзання s. Для визначення залежності ковзання від несиметрії напруг мережі прийнято

$$M = M_1 - M_2; \qquad M = M_c, \tag{6}$$

де M_1, M_2 – моменти, що залежать від напруг прямої U'_1 і зворотної U'_2 послідовностей, які прикладені до обмоток двигуна, Н·м;

M_c – момент опору робочої машини, Н·м.

Напруги прямої U'_1 і зворотної U'_2 послідовностей мережі, а також коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності визначено так

$$\dot{U}'_1 = 1/3(\dot{U}_{ab} + a\,\dot{U}_{bc} + a^2\,\dot{U}_{ca}); \tag{7}$$
$$\dot{U}'_2 = 1/3(\dot{U}_{ab} + a^2\,\dot{U}_{bc} + a\,\dot{U}_{ca}); \tag{8}$$
$$\kappa_{U2\%} = (U_2'/U_{нл})\cdot 100, \tag{9}$$

де $\dot{U}_{ab}$, $\dot{U}_{bc}$, $\dot{U}_{ca}$ – комплекси лінійних напруг мережі, В;

$U_{нл}$ – номінальна лінійна напруга мережі, В.

Рівняння системи «робоча машина – АД» має вигляд

$$M_0 + (k_з M_{с.н.} - M_0)\left(\frac{1-s}{1-s_н}\right)^x = M_1 - M_2, \tag{10}$$

де M_0 – момент опору тертя частин робочої машини (РМ), Н·м;

$M_{с.н}$ – номінальній момент опору робочої машини, Н·м;

$s_н$ – номінальне ковзання;

$k_з$ – коефіцієнт завантаження;

x – коефіцієнт, що характеризує механічну характеристику РМ.

Ковзання АД у функції несиметрії напруг мережі і коефіцієнта завантаження робочої машини при

$x = 0$:

$$s = \frac{\kappa_з}{\frac{u_1}{s_н} - u_2^{\,2} m_П}; \tag{11}$$

$x = 1$:

$$s = \frac{m_o + \frac{\kappa_з - m_0}{1 - s_н}}{\frac{\kappa_з - m_0}{1 - s_н} + \frac{1}{s_н} u_1^{\,2} - m_П u_2^{\,2}}; \qquad (12)$$

$x = 2$:

$$s_{1,2} = \frac{-в \pm \sqrt{в^2 - 4dc}}{2d}, \qquad (13)$$

де $d = \frac{\kappa_з - m_0}{(1 - s_н)^2}$; $в = m_П u_2^{\,2} - \frac{1}{s_н} u_1^{\,2} - 2\frac{(\kappa_з - m_0)}{(1 - s_н)^2}$; $c = m_0 + \frac{\kappa_з - m_0}{(1 - s_н)^2}$;

$$m_0 = \frac{M_0}{M_н}; \ \kappa_з = \frac{M_c}{M_{с.н}}; \ m_П = \frac{M_П}{M_н}; \ u_1 = \frac{U_1'}{U_{нл}}; \ u_2 = \frac{U_2'}{U_{нл}}. \qquad (14)$$

Використовуючи метод симетричних складових і розклав напруги $\dot{U}_{Aa}$, $\dot{U}_{Bb}$, $\dot{U}_{Cc}$ на симетричні складові $\dot{U}_1$, $\dot{U}_2$, $\dot{U}_0$, при цьому прийняв фазу А за основну, складено систему рівнянь

$$\left.\begin{aligned} &\dot{E}_1 = Z_1 \dot{I}_1 + \dot{U}_1; \\ &0 = Z_2 \dot{I}_2 + \dot{U}_2; \\ &\dot{U}_1 + \dot{U}_2 + \dot{U}_0 = Z_{елA}(\dot{I}_1 + \dot{I}_2); \\ &a^2\dot{U}_1 + a\dot{U}_2 + \dot{U}_0 = Z_{елB}(a^2\dot{I}_1 + a\dot{I}_2); \\ &a\dot{U}_1 + a^2\dot{U}_2 + \dot{U}_0 = Z_{елC}(a\dot{I}_1 + a^2\dot{I}_2), \end{aligned}\right\} \qquad (15)$$

де $\dot{E}_1$ – комплекс ЕРС фази джерела живлення, яка прийнята рівною за модулем номінальній фазній напрузі асинхронного двигуна, В;

Z_1, Z_2 – повні опори обмоток асинхронного двигуна прямої й зворотної послідовностей, Ом;

a – фазний множник, $a = e^{j120^\circ}$.

Визначив із системи рівнянь (15) струми прямої $\dot{I}_1$ і зворотної $\dot{I}_2$ послідовностей, а також напруги прямої $\dot{U}_1$, зворотної $\dot{U}_2$ і нульової $\dot{U}_0$ послідовностей, знайдено сили фазних струмів $\dot{I}_A, \dot{I}_B, \dot{I}_C$ АД і напругу зміщення нейтралі

$$\dot{I}_A = \dot{I}_1 + \dot{I}_2; \quad \dot{I}_B = a^2\dot{I}_1 + a\dot{I}_2; \dot{I}_C = a\dot{I}_1 + a^2\dot{I}_2; \quad \dot{U}_N = -\dot{U}_0. \qquad (16)$$

Аналіз системи рівнянь (4) показав, що Комплекси фазних напруг асинхронного двигуна визначаються за формулами

$$\dot{U}_{an} = \dot{I}_1 Z_1 + \dot{I}_2 Z_2; \qquad (17)$$

$$\dot{U}_{bn} = a^2\dot{I}_1 Z_1 + a\dot{I}_2 Z_2; \qquad (18)$$

$$\dot{U}_{cn} = a\dot{I}_1 Z_1 + a^2 \dot{I}_2 Z_2 . \qquad (19)$$

Проаналізуємо змінення $\dot{U}_N$ в залежності від ковзання за допомогою рівняння кругової діаграми, використав графічний метод побудови кругової діаграми (рис. 1).

Запишемо рівняння кругової діаграми наступним чином [8]

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{E}_1}{1 + \frac{z_1}{z_2} e^{\psi}}, \qquad (20)$$

де ψ – кут, що дорівнює різниці кутів зсуву фаз прямої φ_1 і зворотної φ_2 послідовностей, градуси.

$\dot{E}$ – комплекс електрорушійної сили джерела, В.

При побудові кругової діаграми (рис. 4) приймемо, що відрізок ОК відповідає, у масштабі, модулю напруги зміщення нейтралі при короткому замиканні фазної обмотки асинхронного двигателя. Відрізок ОА дорівнює, у масштабі модулю повного опору зворотної послідовності z_2. По лінії змінного параметра (л.з.п.) AN відкладаємо модуль повного опору, що визначений з урахуванням коефіцієнта завантаження і ковзання $z_1 = f(\kappa_з, S)$. Аналіз кругової діаграми показує, що в разі, коли опір прямої послідовності z_1 дорівнює нулю, що є режимом короткого замикання фазної обмотки, вектор напруги зміщення нейтралі співпадає с відрізком ОК, а напруга зміщення нейтралі дорівнює фазній напрузі мережі.

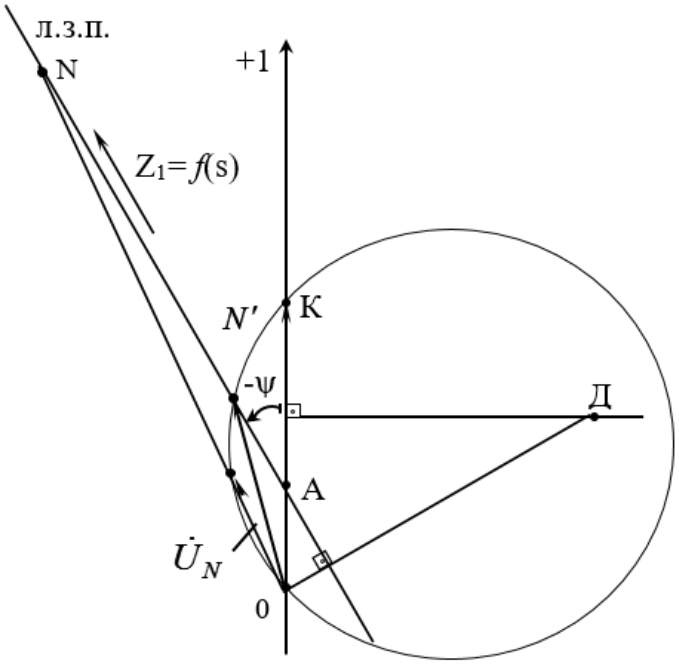


Рисунок 4. Кругова діаграма для дослідження напруги зміщення нейтралі асинхронного двигуна

При роботі АД в симетричному режимі напруг, коли напруги зворотної послідовності і струми зворотної послідовності відсутні (тобто опір зворотної послідовності z_2 дорівнює нулю), напруга змішення нейтралі теж дорівнює нулю. В несиметричному режимі при глибокій несиметрії напруга змішення нейтралі при зміні z_1 від нуля до нескінченності змінюється від E_1, рівної фазній напрузі джерела у симетричному режимі, до нуля..

При збільшенні ковзання опір прямої послідовності z_1 зменшується, що призводить до зростання напруги змішення нейтралі. Напруга зміщення нейтралі асинхронного двигуна буде дорівнювати чисельно, згідно властивостей симетричних складових у трифазному колі, напрузі нульової послідовності.

Висновки. Наведене аналітичне дослідження дозволяє визначити напругу зміщення нейтралі АД, як діагностичного параметра при несиметрії напруг мережі, враховуючи механічну характеристику робочої машини, коефіцієнт несиметрії напруги по зворотній послідовності та коефіцієнт завантаження робочої машини.

Список використаних джерел

1. Крупенин Н. В., Голубев А. В., Завидей В. И. Новые возможности в диагностике электрических машин. *Электричество.* 2011. № 9. С. 45-48.

2. Токарєв О. В., Борягин Д. О., Шеремет О. І. Аналіз причин пошкодження асинхронних двигунів та засобів діагностування їх режимів роботи. *Научный вестник ДГМА*. 2018. № 1 (25Е). С. 39-45.

3. Pillay P., Manyage M. J. Loss of life in induction machines operating with unbalanced supplies. *IEEE Trans. Energy Conversion*. 2006. Vol. 21, № 4. P. 813-822. DOI: 10.1109/TEC.2005.853724.

4. Experimental study of the effect of positive sequence voltage on the derating of induction motors under voltage unbalance / E. C. Quisque et al. *Proceedings of the IEEE International Electric Machines and Drives Conference*. 2011. P. 908-912. DOI: 10.1109/IEMDC.2011.5994936.

5. Nadir B., Faouzi R. M., Ahmed B. The investigation of induction motors under abnormal condition. *TOJSAT*: *Online journal of science and technology.* 2013. Vol. 3, № 4. P. 150-158.

6. Donolo P., Bossio G., Angelo C. D. Analysis of voltage unbalance effects on induction motors with open and closed slots. *Energy Conversion & Management.* 2011. Vol. 52, № 5. P. 2024-2030. DOI: 10.1016/j.enconman.2010.10.045.

7. Samsi R., Ray A., Mayer J. Early detection of stator voltage imbalance in three-phase induction motors. *Electric Power Systems Research*. 2009. Vol. 79, № 1. P. 239-245.

8. Попова І. О. Контроль режимів роботи асинхронних двигунів при несиметрії напруг мережі: автореф. дис. … канд. техн. наук: 05.09.16 / ТДАТА. Мелітополь, 2003. 20 с.

9. Нестерчук Д. М., Попрядухін В. С. Аналіз впливу несиметричних навантажень на режими роботи трифазного асинхронного електродвигуна. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки.* Харків, 2017. Вип. 186: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 85-87.

10. Попова І. О., Попрядухін В. С. Параметри контролю несиметричних режимів роботи асинхронних двигунів для розробки ефективного захисту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 9, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-41.

Стаття надійшла до редакції 22.11.2021 р.

I. Popova, O. Kovalov
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

DETERMINATION OF NEUTRAL DISPLACEMENT VOLTAGE AS A DIAGNOSTIC PARAMETER OF ASYNCHRONOUS MOTOR OPERATION

Summary

The asymmetry of network voltages in rural distribution circuits 0.38 / 0.22 kV is caused by the long length of power lines and mixed connection of single-phase and three-phase consumers, so the asymmetric mode is the usual mode of these rural networks. The asymmetry of mains voltages is manifested in a sharp deterioration of the technical and economic characteristics of the BP (increased electricity losses, increased heating of their components), reduced operational reliability and reduced service life. In the vast majority of cases, the failure of induction motors occurs due to damage to the stator winding due to increased phase currents, which leads to a significant increase in the rate of thermal wear of their insulation. The possibility of using the neutral bias voltage as a diagnostic parameter of BP operation with a short-circuited rotor with asymmetry of rural network voltages at different degrees of loading of working machines is analytically investigated. The method of symmetric components of three-phase system of quantities, symbolic method of analysis of electric circuits and methods of research of linear electric circuits for calculation of BP voltages, at asymmetry of voltages in a network through their symmetrical components of currents and voltages of direct, return and zero sequences are used. The above analytical study allows to calculate the bias voltage of the neutral BP in the asymmetry of mains voltages, phase voltages and currents, taking into account the mechanical characteristics of the working machine, the coefficient of voltage asymmetry in reverse order and the load factor of the working machine.

Key words: voltage asymmetry, neutral bias voltage, diagnostic parameter, slip, load moment.

И. А. Попова, А. В. Ковалев
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ СМЕЩЕНИЯ НЕЙТРАЛИ КАК ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ПАРАМЕТРА РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация

В статье на основе анализа несимметрии напряжений в распределительных сетях 0,38 / 0,22 кВ, вызванной большой длиной линий электропередачи, смешанным подключением потребителей, установлено, что несимметричный режим является обычным режимом указанных сетей. Несимметрия напряжений сети проявляется в резком ухудшении технико-экономических характеристик АД, снижении их эксплуатационной надежности и сокращении срока службы. В большинстве случаев выход из строя АД происходит из-за повреждения обмотки статора из-за повышения фазных токов, что приводит к увеличению скорости теплового износа их изоляции. В работе аналитически исследована возможность использования напряжения смещения нейтрали в качестве диагностического параметра работы АД при несимметрии напряжений сельской сети при различной степени загрузки рабочих машин. Использованы параметры упрощенной Г-образной схемы замещения для определения комплексов полных сопротивлений токам прямой и обратной последовательностей. Приведенное аналитическое исследование позволяет провести расчет напряжения смещения нейтрали АД при несимметрии напряжений сети, фазных напряжений и токов, учитывая механическую характеристику рабочей машины, коэффициент несимметрии напряжения по обратной последовательности и коэффициент загрузки рабочей машины.

Ключевые слова: несимметрия напряжений, напряжение смещения нейтрали, диагностический параметр, скольжение, момент нагрузки.

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-40

УДК 62-634.5

І. П. Назаренко, д.т.н. ORCID: 0000-0001-6365-6777
Р. В. Кушлик, к.т.н. ORCID: 0000-0002-7560-9406
Р. Р. Кушлик, к.т.н. ORCID: 0000-0003-4251-0239
М. І. Стручаєв, к.т.н. ORCID: 0000-0002-8891-4960
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного
e-mail: igornazarenko01@gmail.com, тел: 068-796-81-32

АНАЛІЗ ЕЛЕКТРОДНИХ СИСТЕМ ТА КОНСТРУКЦІЙ АПАРАТІВ ДЛЯ ОЧИЩЕННЯ ОЛІЙ В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Анотація. В роботі проведено аналіз найбільш поширених електродних систем та конструкцій апаратів з вертикальними та горизонтальними електродами, дискових і стрічкових електроосаджувачів, електроосаджувачів з циліндричними і барабанними електродами, шнековими електроосаджувачами, та коронного електросепаратора для очищення олії в електричному полі.

Електроосаджувачі з вертикальними та горизонтальними електродами в процесі роботи потребують періодичної промивки електродної системи, що є їх недоліком.

До електроосаджувачів з пластинчастими електродами належать дискові та стрічкові електроосаджувачі. Загальним недоліком електроочищувачів з пластинчастими електродами є можливість видалення тільки таких частинок домішок, які мають заряд, до того ж, тільки певного знаку. До істотних недоліків барабанного апарату слід віднести малу площу поверхні осаджувального електроду.

Шнекові осаджувачі мають добре організований процес очищення рідини, проте основним недоліком є порівняно мала поверхня електродів. Електродні системи коронного розряду дозволяють отримати потік іонів в газовому середовищі проте основним недоліком є складність конструкції.

Ключові слова: електричне поле, олія, очищення, електродні системи, апарати, конструкція.

Постановка проблеми. Одним з шляхів підвищення ефективного очищення та сепарації олій є застосування електричних методів розділення дисперсних систем, які можуть застосовуватись як окремо, так і в сукупності з іншими. До таких методів відносять:

© І.П. Назаренко, Р.В. Кушлик, Р.Р. Кушлик, М.І. Стручаєв

електрофлотацію; нагрівання у ВЧ і НВЧ-полях; електрофорез; електросепарацію та ін.

Потрібно відмітити, що світова практика має досвід застосування постійного електричного поля високої напруженості для очищення діелектричних суспензій [1-5]. В той же час, відсутність теоретичних та практичних досліджень в області використання змінних полів та застосування методів і технічних засобів очищення та сепарації на цій основі робить проблематичним створення нових високоефективних електротехнологій для очищення продуктів у вигляді діелектричних суспензійтві.

Аналіз останніх досліджень. Вплив сильних електричних полів на дисперсні системи досліджено в роботах І. І. Мартиненка, Г. Б. Іноземцева, Л. С. Червінського, О. М. Береки (Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ). В області очищення дисперсних систем в повітряному середовищі значні результати досягнуті в очищенні димових газів, розділенні сипких матеріалів та збагаченні корисних копалин. Великий внесок в теорію і практику розділення дисперсних систем в електричному полі здійснили вчені: І. Ф. Бородін, В. І. Тарушкін (Московський державний агроінженерний університет ім. Горячкина, м. Москва), А. М. Басов, Ф. Я. Ізаков (Челябінський державний агроінженерний університет, м. Челябінськ). Більшість робіт була спрямована на розділення дисперсних систем в полі коронного розряду та в неоднорідному полі діелектричних сепараторів. Роботи вчених цих наукових шкіл показали, що електричне поле дозволяє розділяти дисперсні системи за ознаками їх електрофізичних властивостей.

Досвід розробки електричних очищувачів рідин, таких як палива та інших нафтопродуктів, збагачено школою Національного авіаційного університету (м. Київ) під керівництвом Г. А. Нікітіна .

Теоретичні та експериментальні дослідження в напрямку очищення рідин в електричному полі, що проводились в останні роки в Інституті прикладної фізики Академії наук Молдови М. К. Бологою та І. І. Бериллом, в Чуваській державній сільськогосподарській академії – М. А. Поповим, Азово-Чорноморській державній агроінженерній академії М. М. Українцевим, показали можливість очищення олій в постійному електричному полі та полі коронного розряду [6].

Аналіз проблеми, що розглядається, показала тенденції розвитку методів і технічних засобів, які розробляються та випускаються ведучими виробниками світу, такими, як «Kleentek Ind Corporation» (Японія), «Petrolite Petreco» та «Combuztion Engenering Co» (США), і направлені на використання менш енергоємних, більш ефективних та екологічно чистих електротехнологій [7,8].

Проте складність застосування пристроїв очищення та сепарації діелектричних суспензій в електричному полі зумовлена нестабільністю електрофізичних властивостей як дисперсної фази, так і дисперсійного середовища суспензій, непередбаченістю процесу накопичення домішок на електродах, що призводить до зриву процесу, та ін.

Зазначене підтверджує актуальність дослідження процесів очищення олії в електричному полі.

Формулювання мети статті. Обґрунтування конструкцій електродних систем і конструкцій апаратів для очищення олій в електричному полі високої напруженості, що забезпечує їх високоефективне очищення.

Основна частина. В апаратах електричного очищення використовують електродні системи різноманітної конфігурації. Форма електродів залежить від умов, що висуваються до конфігурації поля: для однорідного поля це плоскі паралельні електроди; для неоднорідного - комбінації електродів у вигляді пластин, циліндрів, голок, сіток, конусів, гіперболічних циліндрів та інших фігур. Використання тієї або іншої системи електродів зумовлюється тим ефектом, який застосовується в конкретному апараті, а також технічними рішеннями, що вкладені в принцип роботи апарату. Зважаючи на це, розроблена велика кількість апаратів для очищення, в яких використовується певна система електродів та певний ефект дії електричного поля на частинки дисперсної системи (електрофоретична дія, коагуляція, електрогідродинамічні течії, діелектрофорез) [6,9].

Якщо робоча зона апарату являє собою паралельні плоскі пластини, то електричне поле між такими пластинами можна вважати однорідним (за винятком країв пластин) при умові, що відстань між пластинами значно менша за розміри пластин. Напруженість такого поля розраховується за формулою для поля між двома безкінечними паралельними пластинами

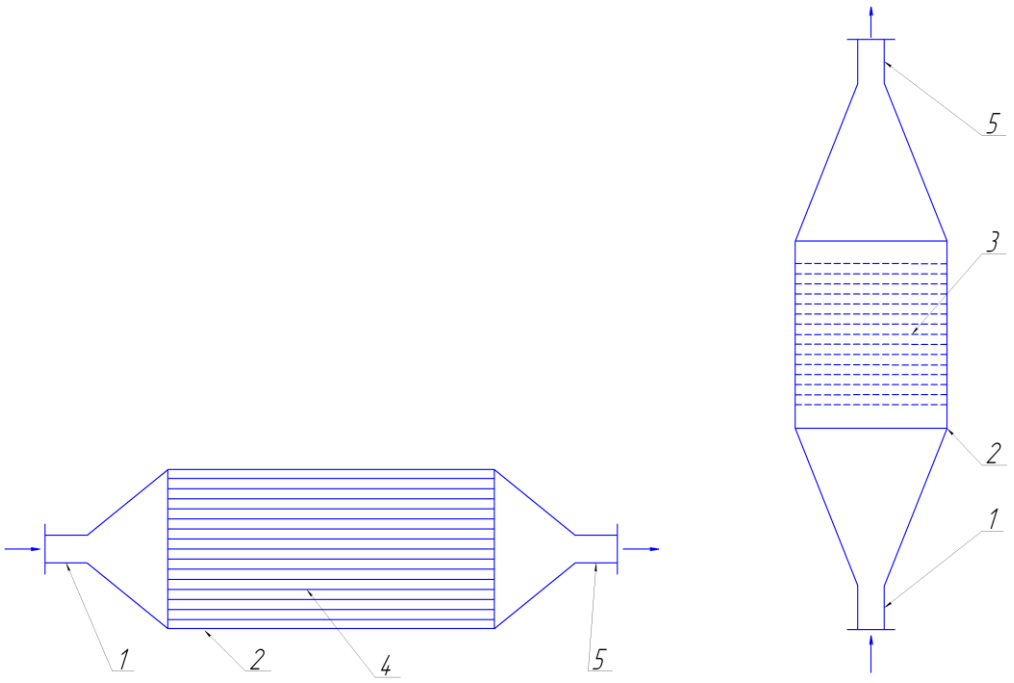
$$E = \frac{U}{l}, \qquad (1)$$

де E – напруженість електричного поля, В/м;
U – напруга між пластинами, В;
l - відстань між пластинами, м.

Така система електродів застосовується в пристроях, де використовується електрофоретична дія поля, коагуляція дисперсних частинок в електричному полі з наступним відстоюванням

(осадженням в гравітаційному полі) та інших випадках, коли не потрібна значна неоднорідність поля [6,10]. Прикладами таких приладів є електроосаджувачі з вертикальними та горизонтальними електродами, що показані на рисунку 1.

Електроосаджувачі з горизонтальними електродами (рис. 1, а) можуть використовуватись для суспензій, домішки (дисперсна фаза) яких має заряд. При подачі на електроди постійної високої напруги заряджені частинки завдяки електрофоретичному ефекту, рухаються до протилежно зарядженого електроду та утримуються на ньому. Ця конструкція дозволяє здійснювати коагуляцію частинок домішок концентрованих суспензій в змінному електричному полі та осаджувати агломерати скоагульованих частинок на електроди під дією гравітації. Недолік таких апаратів - знос осаджених частинок потоком рідини. В процесі роботи такі апарати потребують періодичної промивки електродної системи, що є їх недоліком.



а б

1 - вхідний патрубок; 2 - корпус;
3 - система пластинчастих електродів; 4 - система пластинчастих перфорованих електродів; 5 - вихідний патрубок

Рисунок 1. Електроосаджувачі з пластинчастими електродами (а - горизонтальними електродами; б - вертикальними перфорованими електродами)

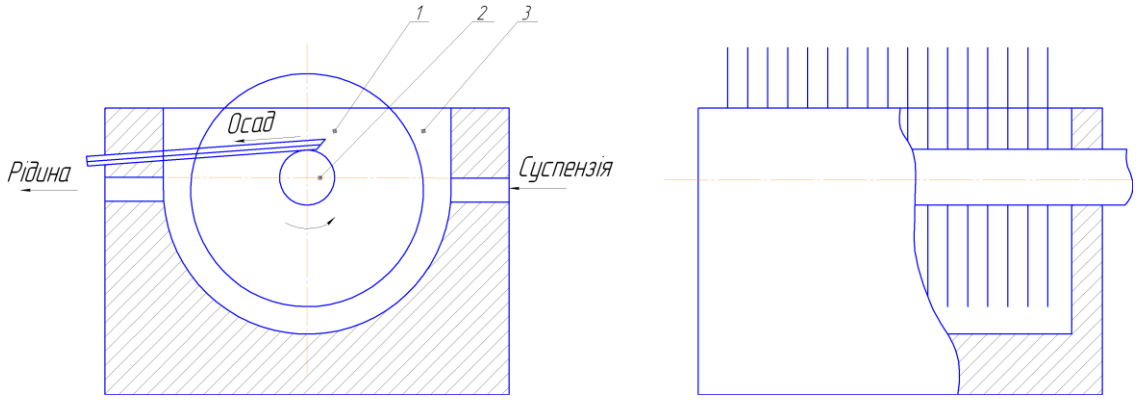
Електроосаджувачі з вертикальними перфорованими електродами (рис. 1, б) працюють тільки на постійному струмі з використанням електрофоретичного ефекту. Рідина проходить між вертикально

розташованими пластинчастими електродами. Зважені частинки під дією сил поля осідають на електродах, а очищений продукт виводиться з апарату через верхній патрубок.

У такому апараті використання перфорованих пластин приводить до концентрації електричного поля на краях отворів та виникнення діелектрофоретичної дії неоднорідного електричного поля. Ця сила рухає частинки до отворів і утримує їх, що призводить до закупорки отворів, і тому пристрій потребує частої промивки.

До електроосаджувачів з пластинчастими електродами належать дискові електроосаджувачі [10]. У таких апаратів (рис.2) дискові електроди 1 розташовані на валу 2. Нижня частина електродів знаходиться у ванні 3.

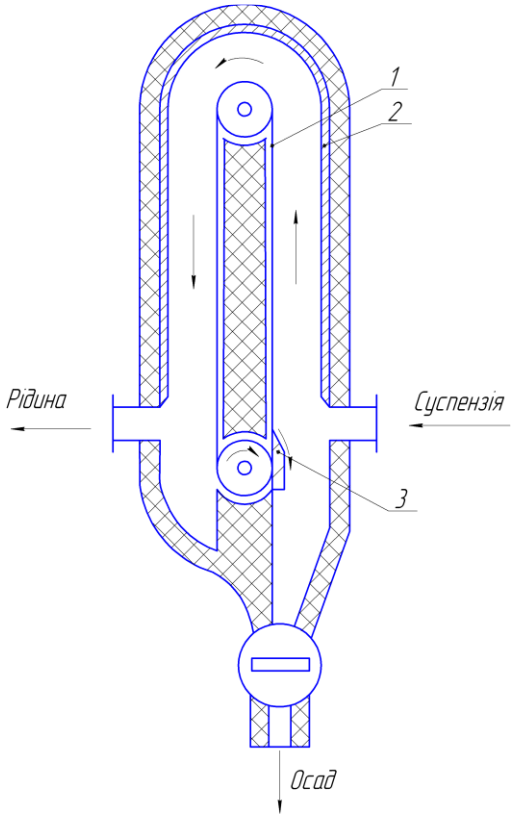
Під час роботи апарату суспензія подається у вхідний патрубок, проходить між електродами і виходить з осаджувача. За рахунок електрофоретичної сили зважені частинки осаджуються на електроди та рухаються разом з ними.



1 - дисковий електрод; 2 - вал; 3 - ванна
Рисунок 2. Дисковий електроосаджувач

Рух осаду та рідини зустрічний. Верхня частина електродів - знаходиться поза межами рідини, де встановлені ножі з діелектричного матеріалу. Обертаючись, електроди виносять осад на поверхню рідини, де він знімається за допомогою ножів.

До апаратів з пластинчастими електродами можна віднести і стрічкові електроосаджувачі (рис. 3). В апаратах такого типу один електрод виконано у вигляді рухомої стрічки 1, що обертається на двох валах, а інший - у вигляді арки 2, що закріплена на внутрішній стінці корпусу.



1 - рухомий стрічковий електрод; 2 - арочний електрод; 3 - ніж
Рисунок 3. Стрічковий електроосаджувач

Суспензія потрапляє в апарат через патрубок і рухається по робочому каналу в електричному полі. Очищена рідина відводиться з апарату через вихідний патрубок. Осадження йде на рухомий стрічковий електрод назустріч потоку рідини. У зоні входу продукту встановлений ніж 3, що знімає осад із стрічки і скидає його в бункер.

Перевагою таких апаратів є зустрічний рух суспензії та осаду на стрічці, що дозволяє використовувати їх для тонкого очищення рідини. За допомогою електроосаджувачів з пластинчастими електродами можна очищувати рослинні олії, місцели, саломас, рідкі запашні речовини та інші рідини. Загальним недоліком електроочищувачів з пластинчастими електродами є можливість видалення тільки таких частинок домішок, які мають заряд, до того ж, тільки певного знаку, що обмежує їх застосування. Такі електроди не можна використовувати в електроочищувачах, де застосовується діелектрофорез у зв’язку з тим, що вони створюють однорідне електричне поле, в якому діелектрофоретична сила відсутня.

Циліндричні електродні системи являють собою два або більше концентричних циліндрів, на які подається постійна або змінна напруга [7]. Такі системи створюють неоднорідне електричне поле. Модуль напруженості електричного поля меж такими циліндрами (поле

циліндричного конденсатора) розраховується за формулою

$$E = \frac{U}{r \cdot \frac{lnR_1}{R_2}}, \quad (2)$$

де r - відстань від осі циліндрів, м;
R_1 - радіус зовнішнього циліндра, м;
R_2 - радіус внутрішнього циліндра, м.

Як і у випадку пластинчастих електродів, циліндричні системи застосовуються в пристроях очищення, де використовуються електрофоретична дія поля та коагуляція дисперсних частинок в електричному полі з наступним відстоюванням. Але на відміну від пластинчастих електродів при невеликому радіусі внутрішнього електроду відповідно до формули (2) може виникати значна неоднорідність електричного поля поблизу цього електроду і, як наслідок, діелектрофоретична сила, яку потрібно враховувати.

Апарати з циліндричними електродами (рис. 4) відносно прості та мають найбільш зручну форму для організації руху суспензії: рух в циліндричних каналах різного розміру.

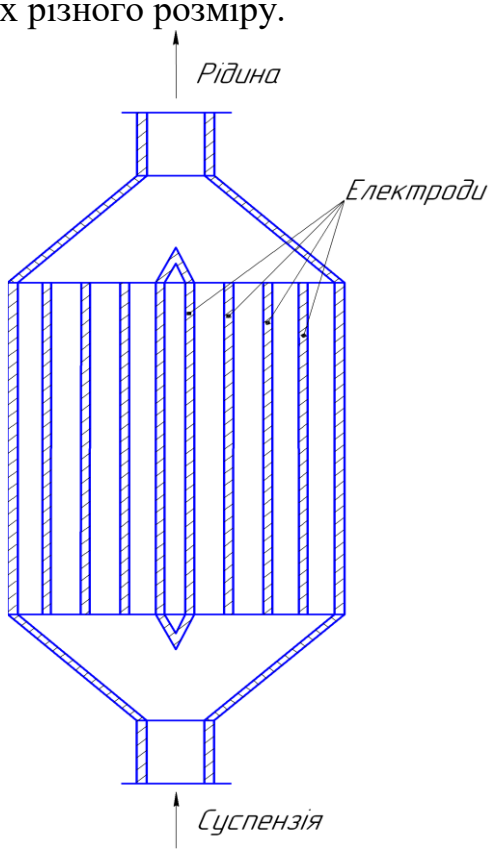
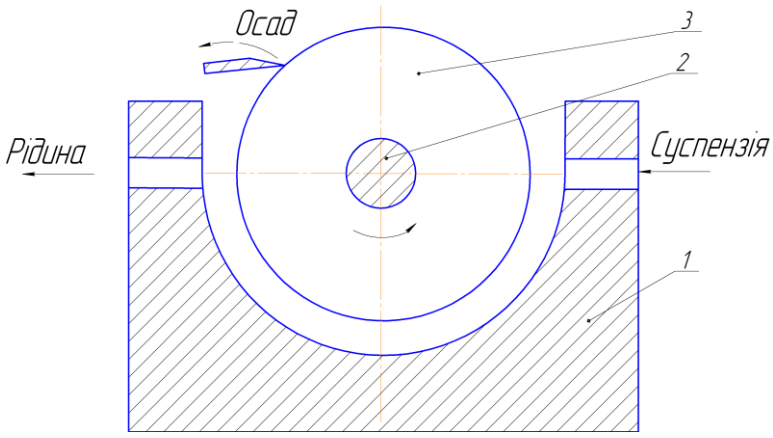


Рисунок 4. Електроосаджувач з циліндричними електродами

Зазвичай електроосаджувачі з коаксиально розташованими електродами використовуються як періодично працюючі апарати. Через певні інтервали часу, коли на електродах накопичиться достатня кількість осаду, осаджувач відключають від мережі і промивають рідиною. Використання таких електродів в апаратах неперервної дії ускладнено проблемою вивантаження осаду. Крім цього, при осаді, що має гарне зчеплення з поверхнею електродів, потрібно вдаватися до заходів, які послаблюють цей зв'язок: у момент змиву осаду з електродів на них можна подати напругу зворотної полярності; подавати на електроди імпульсну напругу; вживати електромеханічні методи (підключити до системи електродів електромагнітний вібратор); вживати акустичні методи, що значно ускладнює конструкцію апаратів.

Усунення зазначених проблем можливе в конструкціях барабанних і шнекових електроосаджувачів.

Електроосаджувачі з барабанними електродами (рис.5). мають хоча б один виконаний у вигляді циліндра електрод. Істотна відмінність їх від осаджувачів з циліндричними електродами полягає в тому, що електроди в барабанному осаджувачі не розташовуються коаксіально.



1 - ванна; 2 - вал; 3 - барабанний електрод

Рисунок 5. Електроосаджувач з барабанним електродом

Корпус такого осаджувача виконано у формі ванни 1 циліндричної форми. Всередині ванни на валу 2 встановлено барабанний електрод 3, на який подається електричний потенціал. Вал і барабан ізольовано від заземленого корпусу, який є другим електродом. Суспензія подається в апарат, проходить по зазору між барабаном і корпусом і виходить з іншого боку.

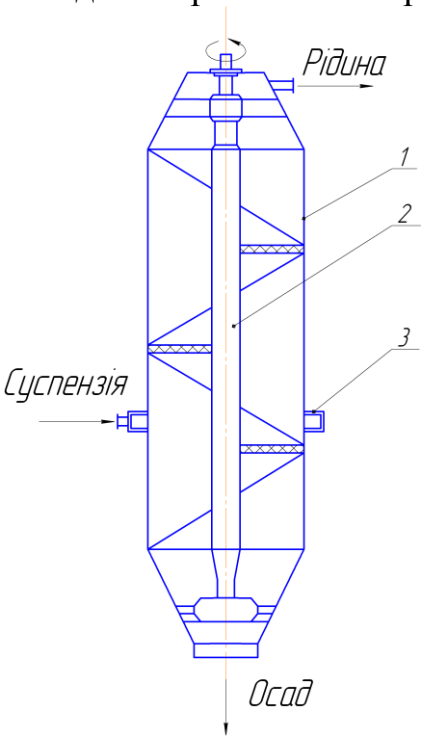
Апарат призначений для очищення рідин, в яких частинки осідають на електрод будь-якого одного знаку. Функцію цього електроду виконує барабан. Під час роботи барабан обертається і

виводить осад з рідини. У верхній частині конструкції розташований ніж або скребок, який знімає осад з барабана.

На відміну від осаджувачів з циліндричними електродами, розташованими коаксіально, в барабанному осаджувачі процес організований краще. Осад з електродом рухається назустріч потоку суспензії, тому рідина по мірі очищення потрапляє в більш чисті зони. В принципі, на виході рідини з апарату електроди можуть бути абсолютно чистими. Осад виводиться з рідини в газовий простір і тут знімається з барабана. Частина рідини при виході осаду в газове середовище стікає назад у ванну. Це дозволяє знизити втрати продукту, що очищається. Конструкція барабанного електроосаджувача порівняно проста, робота його надійна.

До істотних недоліків барабанного апарату слід віднести малу площу поверхні осаджувального електроду і наявність межі розділу рідина - газ. Поле на цій межі неоднорідне і здатне розмити осад при виході його з рідини. З цієї причини може погано здійснюватись осадження на кінцях барабана. Крім цього, з рідини вилучаються тільки заряджені частинки із зарядом певного знаку.

До електроосаджувачів з циліндричними електродами можна віднести і шнековий апарат (рис. 6). Тут в циліндричному корпусі 1 розташований шнек, який складається з металевого циліндричного валу 2 і витків 3, виконаних з діелектричного матеріалу.



1 - корпус; 2 - вал; 3 - діелектричні витки шнеку

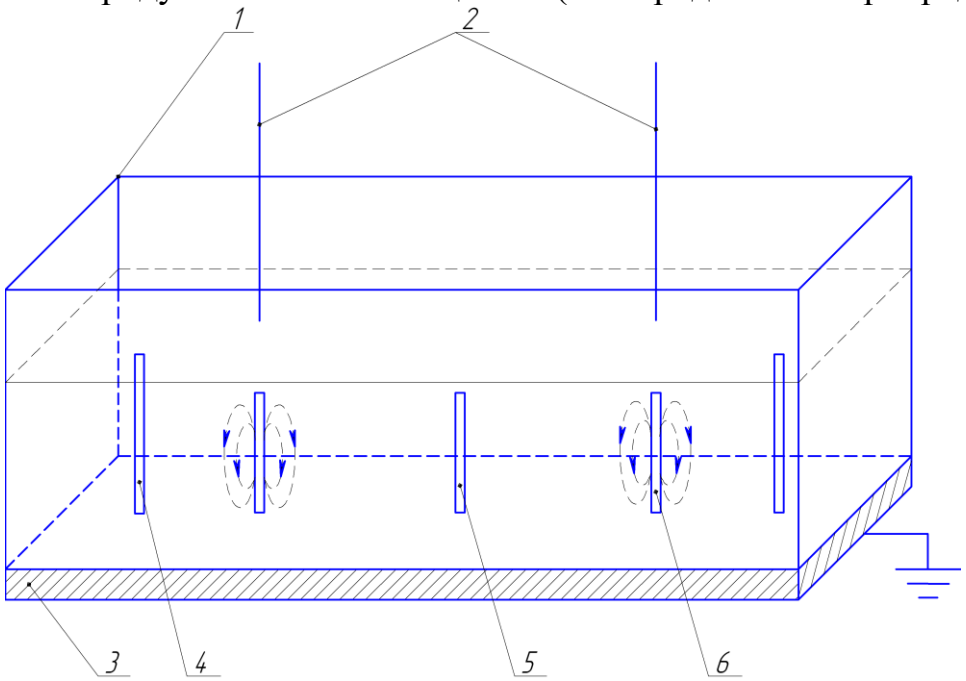
Рисунок 6. Шнековий електроосаджувач

Шнекові осаджувачі мають добре організований процес очищення рідини. Рідина і осад рухаються назустріч один одному. По мірі очищення рідина потрапляє у все чистішу зону. Частина апарату, що знаходиться нижче за колектор, призначена для накопичення осаду в робочому каналі. Безумовно, повне заповнення робочого каналу осадом допускається при очищенні рідини, частинки суспензії якої мають гарні діелектричні властивості. Інакше при заповненні осадом міжелектродного простору відбудеться пробій.

Основними недоліками шнекових електродних осаджувачів, як і барабанних, є порівняно мала поверхня електродів і складність конструкції рухомих вузлів, пов'язана з необхідністю їх електричної ізоляції.

Шнекові осаджувачі застосовують для достатньо тонкого очищення рідини при малій продуктивності. Особливо добре здійснюється очищення рідини, осад якої в'язкий, пастоподібний, такий, що добре зчіплюється з електродом. Рихлий та сипкий осад при транспортуванні шнеком може переходити в рідину. В цьому випадку ефективність очищення знижується.

Електродні системи коронного розряду (рис.7) дозволяють отримати потік іонів в газовому середовищі [6]. Такі іони виникають в області електроду з високим потенціалом (електрод - інжектор зарядів).



1 - камера з діелектричного матеріалу; 2 - високовольтні електроди; 3 - електрод з нульовим потенціалом; 4 - вхідні патрубки; 5 - зливний патрубок; 6 - патрубки концентрованої суспензії

Рисунок 7. Коронний електросепаратор суспензій:

Секція апарату для очищення рідини в полі електродів, що коронують (рис. 7), вміщує камеру з діелектричного матеріалу 1, два високовольтні електроди 2, розташовані над поверхнею суспензії в повітрі, електрод з нульовим потенціалом 3, вхідні патрубки 4 - для подачі суспензії, зливні патрубки 5 - для очищеної рідини і 6 - для концентрованої суспензії. Електроди 2 виконані голчатими. Вони коронують, забезпечуючи електризацію суспензії та її очищення.

При накладенні електричного поля на суспензію під електродами 2, виникають електроконвективні течії. З голчатих електродів на поверхню суспензії інжектується заряд, що відноситься вглиб суспензії за рахунок електроконвективних течій. З огляду на те, що секція пристрою виконана з діелектричного матеріалу, заряд в електроконвективних областях релаксує повільно. Між двома електроконвективними зонами, в середній області секції, суспензія практично нерухома. Частинки домішок з цієї зони за рахунок кулонівських сил втягуються в електроконвективні зони [6].

За допомогою таких пристроїв можна проводити очищення соняшникової олії від воску та механічних домішок.

Апарати очищення суспензій в полі електродів, що коронують, мають недоліки: складність конструкції, яка полягає у великій кількості секцій; нестабільність коронного розряду, яка приводить до зриву процесу очищення, спрямованість тільки на очищення від восків.

Висновки. Загальними недоліками існуючих електричних методів та технічних засобів очищення діелектричних рідин, в електричному полі, що стримує їх застосування, є нестабільність процесу на постійному струмі, потреба в періодичному розвантаженні накопичених на електродах, концентраторах або в чарунках - накопичувачах частинок.

Створення таких умов роботи пристроїв очищення, в яких електричне поле забезпечує задану ефективну траєкторію руху частинок, дозволило б позбутись цих недоліків. Наступна технологічна задача - розділення частинок суспензії з різними властивостями пристроями, в яких використовуються системи електродів з однофазною або постійною напругою, може бути розв’язана тільки в окремих випадках: при різних зарядах на частинках, що розділяються (при електрофорезі); якщо діелектрична проникність однієї частинки більше діелектричну проникність рідини, а іншої - менше (при діелектрофорезі).

Потрібно відмітити, що на теперішній час не було приділено уваги дослідженню процесів очищення в електродних системах з багатофазною напругою, які спроможні створювати, крім пульсуючого, біжуче та обертове електричні поля. Тому, нерозв’язаною залишається задача дослідження закономірностей

поведінки частинок домішок в змінному електричному полі, створеному як однофазними (пульсуюче поле) так і багатофазними (біжуче та обертове) електричні поля.

Не досліджено вплив частоти та структури поля на процеси взаємодії поля і частинки. Дослідження цих процесів може надати можливість застосування в пристроях очищення біжучого електричного поля, яке має суттєві переваги у порівнянні з постійним та пульсуючим полями:

1) можливість транспортування частинок домішок вздовж електродів без осадження на них, що сприятиме створенню пристроїв очищення, працюючих в неперервному режимі;

2) можливість вилучати частинки домішок, які не мають заряду, тобто суттєво розширюється область застосування пристроїв електричного очищення;

3) можливість розділяти частинки за ознаками електрофізичних властивостей при використанні двох полів різної частоти, біжучих зустрічно при сепарації;

4) використання обертового електричного поля дає змогу визначити електрофізичні властивості частинок дисперсної фази суспензії без їх вилучення з рідини.

Список використаних джерел

1. Chinchkar D. S., Satpute S. T., Kumbhar N. R. Castor Oil as Green Lubricant: A Review. *International Journal of Engineering Research and Technology* (IJERT). 2012. Vol. 1, Is. 5. P. 1–3. https://www.ijert.org/research/castor-oil-as-green-lubricant-a-review-IJERTV1IS5236.pdf

2. Supeene G., Koch C., Bhattacharjee S. Defrmation of a dropletinan electricfield: nonlinear transient responsein perfect and dielectric media. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2008. Vol. 318, Is. 2. P. 463–476. DOI:10.1016/j.jcis.2007.10.022.

3. Thaokar R. Dielectrophoresisand deformation of a liquid dropin a non-uniformaxi symmetric AC electric field. *European Physical Journal E*. 2012. Vol.35, Is. 8. P. 1–15. DOI: 10.1140/epje/i2012-12076-y.

4. Tarantsev K.V. Study of Electrohydrodynamic Flowsat a Liquid-liquid Phase Interface. *Chemical and Petroleum Engineering*. 2010. 46(1–2), 64–68. DOI: 10.1007/s10556-010-9292-y

5. Nazarenko I., Didenko O., Loboda O., Chervinsky L. Electrical properties of "water in castor oil" emulsion. *Восточно-европейский журнал передовых технологий*. 4/6 (106), 2020 p. C. 38-44.

6. Болога М. К. Рафинация подсолнечного масла в электрическом поле: монография. АН Республики Молдова, Институт прикладной физики. Молдова: Stinta, 2006. 214 с.: ил.

7. Пат. 5501783 США, МКИ B03 C5/00. Cylindrical electrostatic oil cleaner / Mariko Kawasaki (Япония). - № 306443; заявл. 19.09.94; опубл. 26.03.96, United States Patent Office. - 11 с.

8. Пат. 3891528 США, МКИ B03 C5/00. Electrostatic filter for cleaning dielectric fluids / Edward A. Griswold (США). - № 538275; заявл. 26.02.72; опубл. 24.06.75, United States Patent Office. - 10 с.

9. Назаренко И. П. Очистка и сепарация слабопроводящих суспензий в бегущем электрическом поле. *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве*: материалы Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 16-17 окт. 2013 г.). В 3 т. Т. 3. Минск: НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2014. С. 51- 58.

10. Авт. св. 822860 СССР, МКИ B 01 D 35/36. Дисковый электроочиститель масел / О. Г. Усьяров, Г. А. Седлуха, Л. Г. Левамова, С. Г. Аниканов (СССР). № 2787089/23-26; заявлено 02.07.79; опубл. 24.04.81, Бюл. № 15.

Стаття надійшла до редакції 06.12.2021 р.

I. Nazarenko, R. Kushlyk, R. Kushlyk, M. Struchaev
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

ANALYSIS OF ELECTRODE SYSTEMS AND STRUCTURES OF APPLIANCES FOR PURIFICATION OF OILS IN THE ELECTRIC FIELD

Summary

The analysis of the most common electrode systems and designs of devices with vertical and horizontal electrodes, disk and belt electrodepositors, electrodepositors with cylindrical and drum electrodes, screw electrodepositors, and corona electroseparator for oil purification in electric field.

Electric precipitators with vertical and horizontal electrodes allow the coagulation of particles of concentrated suspensions in an alternating electric field. In the process, such devices require periodic flushing of the electrode system, which is their disadvantage.

Plate electrode precipitators include disc and tape precipitators. Their advantage is the counter-movement of the suspension and sediment on the belt or disk, which allows you to use them for fine cleaning of the liquid. A common disadvantage of electric cleaners with plate electrodes is the ability to remove only those particles of impurities that have a charge, in addition, only a certain sign that limits their use.

Unlike precipitators with cylindrical electrodes arranged coaxially, in the drum precipitator the process is better organized. The precipitate with the electrode moves towards the flow of the suspension, so the liquid as it is cleaned gets into cleaner areas. In principle, at the outlet of the liquid from the device, the electrodes can be completely clean. The precipitate is removed from the liquid into the gas space and is removed from the drum. Part of the liquid at the exit of the precipitate into the gaseous medium flows back into the bath. This reduces the loss of the product to be cleaned. The design of the drum electric precipitator is relatively simple, its operation is reliable

Significant disadvantages of the drum apparatus include the small surface area of the precipitating electrode and the presence of the liquid-gas interface, and with cylindrical electrodes in continuous apparatus complicated problem is the unloading of sediment.

Screw precipitators have a well-organized liquid purification process, but the main disadvantage is the relatively small surface of the electrodes and the complexity of the design of moving parts, due to the need for their electrical insulation.

Coron discharge electrode systems allow to obtain the flow of ions in a gaseous medium, but the main disadvantage is the complexity of the design, which consists of a large number of sections; corona instability.

Key words: electric field, oil, cleaning, electrode systems, devices, construction.

И.П. Назаренко, Р.В. Кушлык, Р.Р. Кушлык, Н.И. Стручаев
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОДНЫХ СИСТЕМ И КОНСТРУКЦИЙ АППАРАТОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ МАСЛА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Аннотация

В работе проведен анализ наиболее распространенных электродных систем и конструкций аппаратов с вертикальными и горизонтальными электродами, дисковых и ленточных электроосадителей, электроосадителей с цилиндрическими и барабанными электродами, шнековыми электроосадителями и коронного электросепаратора для очистки масла в электрическом поле.

Электроосадители с вертикальными и горизонтальными электродами в процессе работы нуждаются в периодической промывке электродной системы, что является их недостатком.

К электроосадителям с пластинчатыми электродами относятся дисковые и ленточные электроосадители. Общим недостатком электроочистителей является возможность удаления только таких частиц примесей, имеющих заряд, к тому же только определенного знака.

К существенным недостаткам барабанного аппарата следует отнести малую площадь поверхности осаждающего электрода.

Шнековые осадители обладают хорошо организованным процессом очистки жидкости, однако основным недостатком является сравнительно малая поверхность электродов.

Электродные системы коронного разряда позволяют получить поток ионов в газовой среде, однако основным недостатком является сложность конструкции.

Ключевые слова: электрическое поле, растительное масло, очистка, электродные системы, аппараты, конструкция

DOI: 10.31388/2220-8674-2021-2-41

УДК 621.316.929

І. О. Попова, к.т.н. ORCID: 0000-0001-5429-8269
С. Ф. Курашкін, к.т.н. ORCID: 0000-0002-3361-9489
Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
e-mail: iryna.popova@tsatu.edu.ua, тел: 0983765519

МІКРОПРОЦЕСОРНИЙ ПРИСТРІЙ МОНІТОРІНГУ ТА ЗАХИСТУ ТРИФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Анотація. На основі аналізу наслідків роботи асинхронного двигуна при несиметрії напруги мережі, а саме – різкого погіршення техніко-економічних характеристик; збільшення струмів в обмотках статора, що призводить до збільшення втрат електричної енергії; підвищення нагріву їх складових частин; зниження експлуатаційної надійності і скорочення терміну служби, та для підвищення експлуатаційної надійності асинхронних двигунів, які експлуатуються у сільському виробництві при несиметрії фазних напруг мережі, прийнято рішення про удосконалення засобів діагностування. В статті надані структурна і принципова схеми мікропроцесорого пристрою моніторингу і захисту трифазного асинхронного двигуна з мікроконтролерним датчиком температури. Мікропроцесорний пристрій дозволяє здійснювати: контроль відхилення фазної напруги, перекосу фаз; контроль лінійної напруги, контроль температури статорної обмотки; світлову сигналізацію виникаючих аварійних ситуацій – відхилення напруги відносно номінального значення, обрив фази живлення або перевищення температури обмотки; затримку в роботі пристрою під час пуску асинхронного двигуна або групи асинхронних двигунів для унеможливлення хибних відключень.

Ключові слова: пристрій захисту, моніторинг, трифазний асинхронний двигун, датчик температури, структурна схема, принципова схема.

Постановка проблеми. На сільськогосподарських підприємствах найбільше застосування мають асинхронні трифазні електродвигуни з короткозамкненим ротором (АД), як надійні, прості і дешеві, з цієї причини далі піде мова тільки про такі двигуни.

В сільськогосподарському виробництві використовують АД різних потужностей, але переважають електродвигуни потужністю

© І. О. Попова, С. Ф. Курашкін

0,55-15,0 кВт, причому в цій групі найбільша кількість АД потужністю 1,5-5,5 кВт, а це більше 60% від усіх АД, що використовуються, з них найбільша доля потужнісю 1,0-3,0 кВт [1]. В свою чергу електродвигуни потужністю до 22,0 кВт складають 96% задіяних у АПК для виготовлення комбікормів, у зернопереробних комплексах, вентиляції, водопостачанні, зрошенні, пневмотранспорті тощо.

Не зважаючи не це, щорічно в сільському господарстві виходить з ладу 20-25% АД від наявного парку [2], хоча, як правило, АД забезпечені пускозахисною апаратурою. Основна причина виходу їх з ладу – аварійні режими, серед яких перевантаження, обрив фазного проводу і несиметрія напруги мережі (до 45%), заклинювання і руйнування підшипникового вузла та інші. Зі сказаного слідує, що виникнення несиметрії фазних напруг і обрив фазного проводу та перегрів обмотки статора є однією з основних причин виходу з ладу асинхронних двигунів [2].

Аналіз останніх досліджень. Несиметрія напруги проявляється в різкому погіршенні техніко-економічних характеристик електродвигунів, збільшенні струмів в обмотках статора, що приводить до збільшення втрат електричної енергії в АД, підвищення нагріву їх складових частин, зниженні експлуатаційної надійності і скороченні терміну служби електродвигунів.

Для підвищення експлуатаційної надійності АД, які експлуатуються у сільському виробництві при несиметрії фазних напруг мережі, необхідно удосконалювати засоби діагностування. Це дозволить експлуатаційному персоналу мати точні дані про режим роботи електроустаткування, стан робочих частин, безпомилково визначати час його відключення від джерела живлення, зменшити знос ізоляції, число відмов і аварійних виходів з ладу асинхронних двигунів [2]. Існують способи одночасного отримання можливо повної інформації про наявність дефектів на відключеному (статичні випробування) і працюючому (динамічні випробування) двигуні. Кореляція статичних і динамічних даних випробувань дає можливість оцінити реальний технічний стан двигуна і дати надійний прогноз його працездатності.

Серед систем подібного призначення, в яких реалізовані ці можливості, можна назвати обладнання MCE^{TM} (аналізатор кіл двигуна) і DMA (система динамічного аналізу двигунів), що виробляються корпорацією PdMA (США). В системі передбачено використання програмного забезпечення MCEGold для аналізу даних вимірювань і бази даних, яке дозволяє отримувати тимчасові тренди даних вимірювань. Обидві системи і технологія орієнтовані на визначення найбільш пошкоджуваних елементів і вузлів електродвигунів, а також контроль якості напруги живлячої мережі або

приводів [3]. В наш час найбільш затребувані пристрої захисту як низьковольтних (до 1000 В), так і високовольтних (напругою 6/10 кВ) АД від аварійних режимів роботи (коротких замиканій; перевантажень за струмом; несиметрії навантаження по фазах; замикань на землю; перевищення або зниження живлячої напруги; невірне чергування фаз) з цифровим налаштуванням і індикацією контрольованих параметрів є реле захисту РДЦ-01-057-4 або РДЦ-01-057-5 [4].

Найбільш вразливою від аварійних несиметричних режимів в АД є обмотка статора та її ізоляція. Частіше за все обмотки АД виходять з ладу через несиметрію напруги мережі (перекіс і обрив фаз) та роботу технологічного обладнання з перевантаженням. В цих випадка значно підвищується сила струму в обмотках статора, збільшуються втрати активної потужності в них, збільшується перевищення температури обмотки по відношенню до температури навколишнього середовища. Таким чином, необхідно контролювати її температуру під час роботи [8]. В захисних пристріях, що розробляються, необхідно використовувати новітні електронні елементи конструкції: наприклад, контроль температури за допомогою аналога лямбда-діода або електронний датчик температури, що дозволяє більш точно вимірювати температури фази статора АД [9, 10] – це дозволить отримати компактний, надійний і многофункціональний пристрій захисту.

Формулювання цілей статті. Розробити структурну і принципову схеми захисного пристрою трифазного АД, що передбачає його захист від обриву фази, відхилення і несиметрії фазних і лінійних напруг та перегріву обмоток статора.

Основна частина. Пристрій захисту АД повинен забезпечувати виконання наступних потреб:

− здійснення контролю напруги фаз А, В, С, а при відхиленні фазної напруги (перекосі фаз) в межах 190-250 В відключати його від електричної мережі;

− здійснення контролю лінійної напруги А-В, В-С, С-А, при відхиленні більш ніж на ±30 В відключати його від електричної мережі;

− здійснення контролю температури статорної обмотки, при перевищенні гранично допустимого значення для класу ізоляції АД (наприклад, 115 °С) відключати його від електричної мережі;

− світлова сигналізація виникаючих аварійних ситуацій: відхилення напруги, обрив фази або перевищення температури обмотки статора граничнодопустимого для класу ізоляції АД.

Під час пуску електродвигуна або групи електродвигунів можливі провали або стрибки напруги в фазах, які обумовлені пусковими струмами, тому пристрій захисту по напрузі починає працювати через одну хвилину після включення двигуна.

Пристрій побудований на мікроконтролері (МК) PIC16F676 і мікроконтролерному датчику температури DS1820 [9, 10].

Згідно з алгоритмом роботи пристрою захисту розроблена структурна схема пристрою, яка наведена на рис. 1.

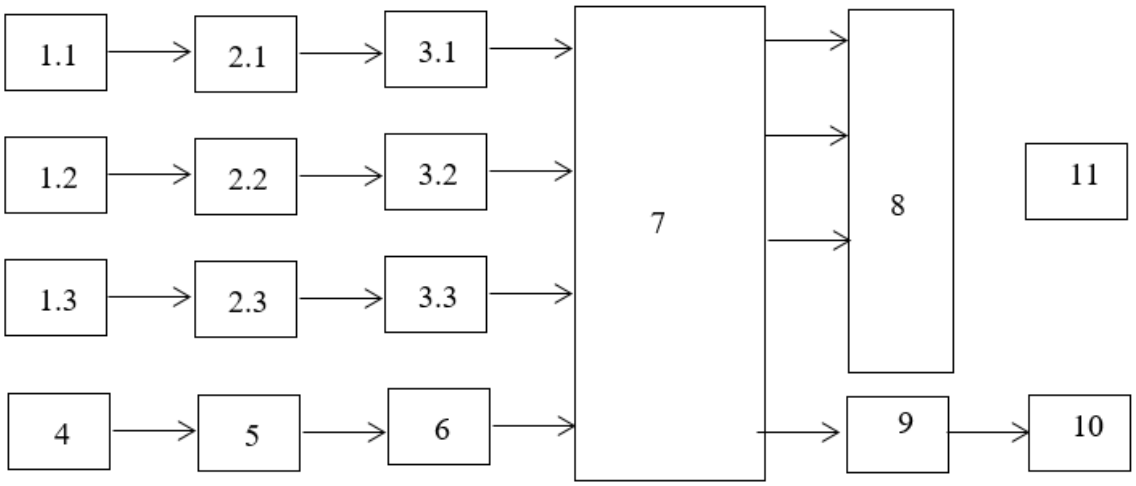


Рисунок 1. Структурна схема мікропроцесорного пристрою захисту

Структурна схема пристрою складається з наступних блоків: 1.1, 1.2, 1.3 – блок випрямлення напруги фаз А, В, С; 2.1, 2.2, 2.3 – блоки дільників напруги фаз А, В, С; 3.1, 3.2, 3.3 – згладжувальні фільтри; 4 – первинний перетворювач температури фаз; 5 – датчик температури; 6 – блок підлаштування; 7 – мікроконтролер; 8 – блок світлової індикації напруги і температури; 9 – гальванічна розв'язка кіл; 10 – виконавчий орган; 11 – блок живлення пристрою захисту.

Виникнення аварійних режимів в кожній фазі і перевищення температури статорних обмоток двигуна супроводжується включенням відповідних сигнальних світлодіодів. В пристрої для виміру і порівняння використовується випрямлена напруга фаз відносно нульового проводу. Принципова електрична схема пристрою наведена на рис. 2.

Для зниження виміряної на фазах напруги застосовуються дільники напруги R1-R3 і R10-R12 – вони мають коефіцієнт ділення 1:100. Змінна напруга на фазах випрямляється напівполуперіодним випрямлячем, що складається з діодів VD1…VD3 та стабілізується стабілітронами VD7-VD9. Випрямлена напруга згладжується конденсаторним фільтром С4-С6 і поступає до входів RA0-RA2 МК DD2. В лінії зв'язку термодатчика DD1 з входом RC4 МК встановлений резистор R13.

Частота тактування МК 4 МГц задається його внутрішнім генератором. Частоту тактового генератора, поділену на чотири

(1 МГц), можна спостерігати на виході RA4 (вихід 3 МК), контролюючи таким чином працездатність МК.

Вихід RA3 МК через оптотиристор U1 і симистор VS1 включає пускове реле К1. Його контакти К1.1-К1.3 здійснюють подачу напруги на електродвигун або відключають його від мережі.

Світлодіоди HL1-HL4 сигналізують про виникнення аварійного режиму. Величини резисторів R6-R9 підбирають в залежності від вибраного типу світлодіодів і необхідної яскравості світіння. У схемі застосовуються світлодіоди типу КИПД21-ПК. Кнопка SB1 «Скидання» необхідна для перезавантаження МК і включення електродвигуна після усунення аварійного режиму.

Живлення схеми відбувається від безтрансформаторного джерела живлення за допомогою конденсатора С3, допустима робоча напруга якого повинна складати не менше 400 В. Стабілітрон VD4 має напругу стабілізації 5,1 В (тип 1N4733A). Така напруга є опорною для аналого-цифрового перетворювача (АЦП) МК. Якщо застосувати стабілітрон з меншою напругою стабілізації, наприклад, 4,7 В, то знадобиться пропорційна зміна коефіцієнту ділення вхідних дільників напруги.

Якщо необхідність у вимірі перевищення температури ізоляції обмотки відсутня, датчик температури DD1 типу DS1820 можна не встановлювати (тоді буде відсутній захист електродвигуна від перегріву ізоляції), але лінія зв’язку повинна залишатися навантаженою резистором R13.

Пристрій працює наступним чином. Після його включення відбувається ініціалізація регістрів МК і включається керуючий вихід. Для усунення похибки спрацювання під час пуску двигуна або групи двигунів пристрій захисту по напрузі має витримку одну хвилину, після чого відбувається контроль напруги живлення електродвигуна.

Далі циклічно відбувається вимір напруги фаз А, В, С. Після кожного виміру фаза живлення перевіряється на обрив. Якщо виміряна напруга дорівнює нулю, то МК формує команду про відключення навантаження. Потім слідує перевірка величини виміряної напруги у фазі на вихід за межі діапазону 190-250 В. Якщо це трапилося, то включається лічильник помилок МК, який затримує час вимикання двигуна приблизно на 1,8 с. Для кожного порівняння МК має свій лічильник, якщо наступне вимірювання напруги прийде до норми, то даний лічильник обнуляється.

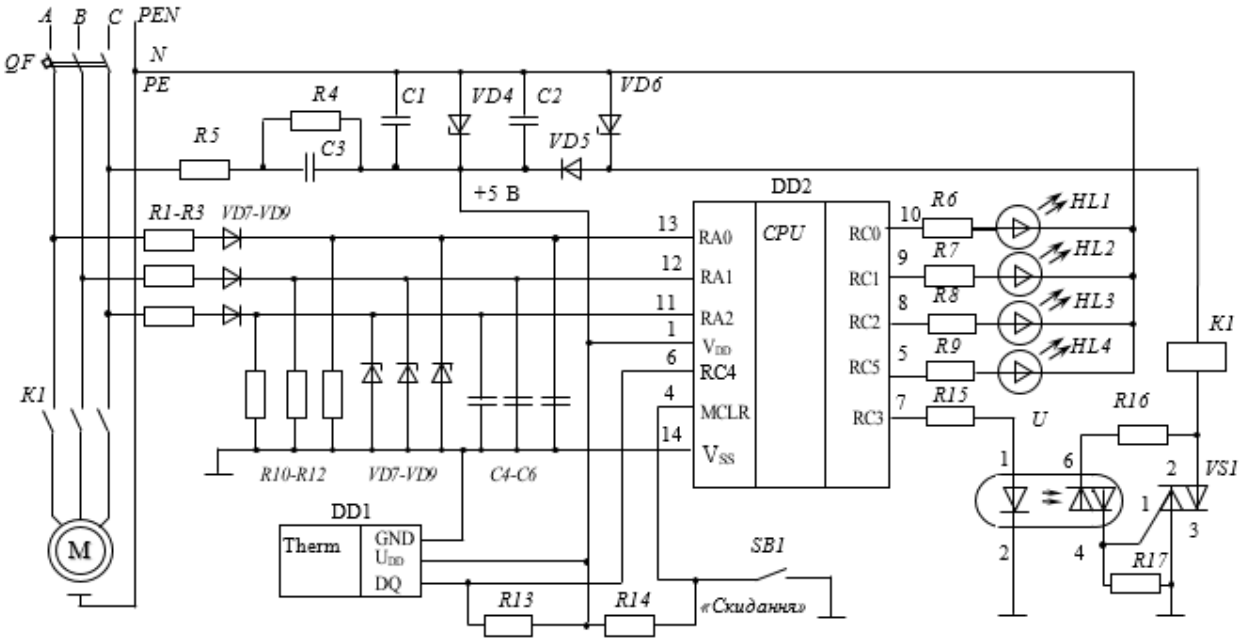


Рисунок 2. Принципова електрична схема пристрою захисту

Після порівняння лінійної напруги A-B, B-C, C-A, їх різниця перевіряється на перевищення заданого граничного значення 30 В. Якщо несиметрія між лінійними напругами перевищує це значення, то включається лічильник помилок. Вимикання АД відбувається аналогічно через 1,8 с.

Вимірювання температури починається з ініціалізації термодатчика і отримання команди дозволу. Якщо температура обмотки перевищує граничне перевищення температури ізоляції обмотки, то АД відключається.

Розроблений пристрій захисту рекомендується до встановлення в шафі керування АД. Сигнальна лінія зв'язку з термодатчиком повинна бути екранованою та її довжина не повинна перевищувати 5 м.

Налагодження пристрою починають з перевірки напруги живлення, яка повинна бути 5,1 В. Далі, підбором опору резисторів R1-R3, встановлюють напругу на входах 11-13 МК, яка повинна бути в 100 разів меншою за вхідну. При цьому на всі входи може бути подана напруга однієї фази. Після встановлення запрограмованого МК пристрій готовий до роботи.

Робота з пристроєм зводиться до аналізу стану світлодіодів при виникненні аварійних режимів. Якщо електродвигун відключився і при цьому жодний світлодіод не світиться – стався обрив фази живлення. Якщо горить один з світлодіодів AB, AC, CA, то можливий вихід напруги за межі діапазону 190-250 В. При цьому перша літера позначення світлодіода вказує аварійну фазу. Під час несиметрії

напруги («перекіс фаз») надпис під світлодіодом, що світиться, відповідає тим фазам, різниця напруги яких більша за 30 В. Як правило, одночасно включається два світлодіода, наприклад, АВ і СА. В цьому разі напруга фази А має відхилення від напруги фаз В і С більш ніж на 30 В. Після усунення аварійної ситуації електродвигун вмикається натисканням кнопки «Скидання». Для програмування МК PIC16F676 можна скористатися програмою PonyProg2000 або подібною.

Висновок. Отже, застосування мікропроцесорного захисного пристрою дозволить зменшити експлуатаційні витрати, підвищити експлуатаційну надійність і збільшити строк роботи АД.

Список використаних джерел

1. Гурин В. В. Защита асинхронных трехфазних электродвигателей: учеб. пособие. Минск: БГАТУ, 2011. Ч. 2. 448 с.

2. Титко А. И., Осадчий Е. П., Шаломыгин М. В. Программно-технический комплекс диагностики изоляции обмоток асинхронных двигателей. *Новини енергетики*. 1998. № 8. С. 38-42.

3. Крупенин Н. В., Голубев А. В., Завидей В. И. Новые возможности в диагностике электрических машин. *Электричество.* 2011. № 9. С. 45-48.

4. Микропроцессорные реле защиты для электродвигателей 6/10 кВ РДЦ-01-057-4, РДЦ-01-057-5. URL: https://relsis.ua/produktsiya/zashchita-dvigatelej/rdts-01-057-4-5 (дата звернення: 17.08.2021).

5. Wolkiewicz M., Skowron M. Diagnostic system for induction motor stator winding faults based on axial flux. *Power electronics and drives*. 2017. Vol. 2 (37), № 2. P. 137-150. DOI: 10.5277/PED170204.

6. Zagirnyak M., Mamchur D., Kalinov A. Comparison of induction motor diagnostic methods based on spectra analysis of current and instantaneous power signals. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2012. № 12b. P. 221-224.

7. Bouchikhi E. H., Choqueuse V., Benbouzid M. Induction machine diagnosis using stator current advanced signal processing. *International Journal on Energy Conversion.* 2015. Vol. 3, № 3. P. 76–87.

8. Попова І. О. Курашкін С. Ф., Нестерчук Д. М. Захист асинхронного двигуна від несиметричних режимів. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. Технічні науки.* Харків, 2018. Вип. 195: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. С. 114–115.

9. Курашкін С. Ф., Попова І. О. Пристрій захисту трифазних асинхронних електродвигунів. *Праці Таврійського державного*

агротехнологічного університету. Мелітополь, 2020. Вип. 20, т. 4. С. 126-135. DOI: 10.31388/2078-0877-2020-20-4-126-135.

10. Хоровиц П., Хилл У. Искусство схемотехники. Москва: Мир, 2009. 704 с.

Стаття надійшла до редакції 2.12.2021 р.

I. Popova, S. Kurashkin
Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

MICROPROCESSOR DEVICE FOR MONITORING AND PROTECTION OF THREE-PHASE INDUCTION MOTOR

Summary

The main reason for the failure of induction motors with short-circuited rotor – emergency modes, such as overload, phase wire breakage and voltage asymmetry, jamming and destruction of the bearing assembly etc. The occurrence of phase voltages asymmetry and phase wire breakage and overheating of stator winding is one of the main causes of failure of induction motors. Voltage asymmetry is manifested in a sharp deterioration of the technical and economic characteristics of electric motors, increased currents in the stator windings, which leads to increased losses of electrical energy in the induction motors increased heating of their components, reduced operational reliability and reduced motor life. To increase the operational reliability of induction motors, which are operated in agricultural production with asymmetry of phase voltages of the network, it is necessary to improve the means of diagnosis.

Structural and schematic diagrams of a microprocessor protection device for a three-phase induction motor with a microcontroller temperature sensor have been developed. The microprocessor device allows to carry out: control of deviation of phase voltage, skew of phases; line voltage control, stator winding temperature control; light signaling of emerging emergencies: voltage deviation, phase break or excess winding temperature; delay in operation of the device during start of the engine or group of engines for prevention of false shutdowns.

***Key words*:** protection device, monitoring, three-phase induction motor, temperature sensor, structural diagram, schematic diagram.

И.А. Попова, С.Ф. Курашкин
Таврический государственный агротехнологический университет имени Дмитрия Моторного

МИКРОПРОЦЕССОРНОЕ УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА И ЗАЩИТЫ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Аннотация

В статье на основе анализа последствий работы асинхронного двигателя при несимметрии напряжения сети: резкого ухудшения технико-экономических характеристик; увеличения токов в обмотках статора, что приводит к увеличению потерь электрической энергии в асинхронных двигателях; повышении нагрева их составных частей; снижения эксплуатационной надежности и сокращения срока службы электродвигателей и для повышения эксплуатационной надежности

асинхронных двигателей, эксплуатируемых в сельском производстве при несимметрии фазных напряжений сети, принято решение о совершенствовании средства диагностирования. Статье представлены разработанные структурная и принципиальная схемы микропроцессорного устройства защиты трехфазного асинхронного двигателя с микроконтроллерным датчиком температуры. Микропроцессорное устройство позволяет осуществлять: контроль отклонения фазного напряжения, перекосе фаз; контроль линейного напряжения, контроль температуры статорной обмотки; световую сигнализацию возникающих аварийных ситуаций: отклонение напряжения, обрыв фазы или превышение температуры обмотки; задержку в работе устройства при пуске асинхронного двигателя или группы асинхронных двигателей для предотвращения ложных отключений.

***Ключевые слова*:** устройство защиты, мониторинг, трехфазный асинхронный двигатель, датчик температуры, структурная схема, принципиальная схема.

Електронне наукове фахове видання

Науковий вісник
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 11, том 2.

Відповідальний за випуск – к.т.н., професор Скляр О. Г.

Комп’ютерна верстка: к.т.н., доцент Болтянська Н. І.

Коректори:
Лівик Н. В.

Підписано до друку 10 грудня 2021 р. друк. Rizo.
Друкарня ТДАТУ
29,5 умов. друк. арк.