

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного



**Науковий вісник**

Таврійського державного агротехнологічного університету



*Випуск 10, том 2*

Електронне наукове фахове видання

Мелітополь – 2020 р.

УДК [631.3+621.3+004]

T 13

Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету : електронне наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д. т. н., проф. В. М. Кюрчев. - Мелітополь: ТДАТУ, 2020. - Вип. 10, том 2.

**ISSN 2220-8674**

Друкується за рішенням Вченої Ради ТДАТУ,  
Протокол № 3 від 1 грудня 2020 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, eLibrary, «Україна наукова», НБУ ім. В. І. Вернадського.

**Редакційна колегія:**

**Головний редактор**

Кюрчев В. М. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Заступник головного редактора**

Надикто В. Т. - чл.-кор. НААН України, д.т.н., проф. (Україна)

**Відповідальний секретар**

Діордієв В. Т. - д.т.н., проф. (Україна)

**Технічний секретар**

Кашкарьов А. О. - к.т.н., доц. (Україна)

BeloevHristo - д.т.н., проф. (Болгарія)

IvanovsSemjons - PhD (Latvia)

JoseItaloCortez - PhD (Mexico)

Нукешев Саяхат - д.т.н., проф. (Казахстан)

Прищепов М.А. - д.т.н., доц. (Білорусь)

Постолатій В. М. - д.х.т.н. (Молдова)

Шингисов А. У. - д.т.н., проф. (Казахстан)

Волошина А.А. - д.т.н., доц. (Україна)

Гнатушенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гумен О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Дейниченко Г. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Дідур В. А. - д.т.н., проф. (Україна)

Євлаш В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Караєв О. Г. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Кузнєцов М. П. - д.т.н., с.н.с. (Україна)

Леженкін О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Лисиченко М. Л. - д.т.н., проф. (Україна)

Малкіна В. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Мілько Д. О. - д.т.н., в.о. проф. (Україна)

Назаренко І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Паламарчук І. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Панченко А. І. - д.т.н., проф. (Україна)

Пилипенко Л. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Погребняк А. В. - д.т.н., доц. (Україна)

Пріс О. П. - д.т.н., проф. (Україна)

Сердюк М. Є. - д.т.н., доц. (Україна)

Соболь О. М. - д.т.н., проф. (Україна)

Тарасенко В. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Шоман О. В. - д.т.н., проф. (Україна)

Гавриленко Є. А. - к.т.н., доц. (Україна)

Кюрчев С. В. - к.т.н., проф. (Україна)

Квітка С. О. - к.т.н., доц. (Україна)

Лендел Т. І. - к.т.н., (Україна)

Ляковська 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)

Яковлев 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, 2020.



## ЗМІСТ

### ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

- Кюрчев В. М., Мовчан С. І., Бережецький О. В., Андріанов О. А., Шелкунов В. І.* 1  
Промислові випробування приладу електромагнітної водопідготовки в системі оборотного тепловодопостачання
- Пастушенко С. І., Клендій М. Б., Клендій М. І.* 2  
Дослідження тягового опору експериментального варіанту борони з гвинтовими робочими органами
- Журавель Д. П.* 3  
Забезпечення надійності гідросистем сільськогосподарської техніки шляхом очищення робочих рідин
- Субочев О. І., Січко О. Є., Ковтун І. О.* 4  
Обґрунтування спеціалізації і розташування підприємств технічного сервісу
- Болтянська Н. І., Маніта І. Ю.* 5  
Інноваційний розвиток техніки для молочного скотарства
- Скляр О. Г., Скляр Р. В.* 6  
Порівняльна характеристика термічних методів переробки пташиного посліду
- Парієв А. О., Коротченко Т. М., Болтянський Б. В.* 7  
Удосконалений генератор з регульованою електричною напругою імпульсу на лінії електроопорожі для пасовищного утримання овець
- Субочев О. І., Деркач О. Д., Каракай А. О.* 8  
Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів просапного культиватора у складі машинно-тракторного агрегату
- Журавель Д. П.* 9  
Оцінка надійності паливного насоса високого тиску дизельного двигуна при експлуатації на різних видах паливних
- Болтянська Н. І., Шокарев О.М., Заболотько О. О.* 10  
Вплив селекційно-генетичної роботи на ефективність галузі свинарства



- В'юник О. В., Сірий І. С., Смєлов А. О.* 11  
Програма та методика експериментальних досліджень зношування деталей шестеренних насосів
- Мовчан С. І., Дереза О. О., Дереза С. В.* 12  
Моделювання елементів і складових одиниць в системах оборотного водопостачання
- Паніна В. В., Дідур В. В., Сірий І. С., Чорна Т. С.* 13  
Зміцнення деталей за допомогою поверхнево-пластичної деформації
- Скляр О. Г., Скляр Р. В., Григоренко С.М.,* 14  
Технічні рішення щодо сушіння пташиного посліду
- Шегеда К.О., Шокарев О.М.* 15  
Концептуальні дослідження організації технологічного процесу збирання зернових культур
- В'юник О. В., Дідур В. В., Сірий І. С.* 16  
Результати експериментальних досліджень впливу епіламних покриттів на знос деталей шестеренного насосу
- Колодій О. С., Сушко О. В.* 17  
Влияние среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на процесс резания
- Болтянський Б. В., Парієв А. О., Дереза О. О., Дереза С. В., Дробішев О. О., Коротченко Т. М.* 18  
Вибір раціонального енергетичного засобу для агрегування мобільного змішувача-кормороздавача
- Комар А. С.* 19  
Методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з перепелиного посліду
- Паніна В. В., Дашивець Г. І., Новік О. Ю.* 20  
Оброблення робочих поверхонь зубчастих коліс поверхнево-пластичним деформуванням

## ХАРЧОВІ ТЕХНОЛОГІЇ

- Кошель О. Ю., Перцевой Ф. В., Марченко О. С., Чуйко О. В., Самілик М. М.* 21  
Деривотографічні дослідження компонентів розроблених молокозмісних термостабільних начинок з желатином та трансглютаміназою



*Боярчук В.М., Коробка С.В., Бабич М.І., Кригуль Р.Є.* 22  
Експериментальні дослідження конвективного сушіння фруктів у геліосушарці

*Боковець С.П., Перцевой Ф.В., Мельник О.Ю., Гурський П.В.* 23  
Вивчення міцності гелів при додаванні гліцерину

### **ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

*Сілі І.І., Азархов О.Ю., Бухлал Н.А., Петров В.О.* 24  
Розробка моделі домашнього стаціонарного вертикального вітрогенератора

*Постнікова М.В.* 25  
Енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів

*Попрядухін В.С., Попова І.О.* 26  
Визначення параметрів системи випромінювання для лікування хвороб великої рогатої худоби

*Вовк О. Ю., Квітка С. О.* 27  
Енергозберігаюче керування асинхронними електродвигунами прикладеною напругою

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

*Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г., Шаров С. В.* 28  
Розробка інформаційно-довідкової системи агронома для ефективного вирощування соняшника в Україні

*Нестеренко Є. В.* 29  
Формування звітності з успішності та відвідуваності електронних навчальних курсів студентами закладу освіти на базі платформи MOODLE



УДК 631.171.075.4

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-1

## ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДУ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ В СИСТЕМІ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ

Кюрчев В. М.<sup>1</sup>, д.т.н., проф.,  
Мовчан С. І.<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
*E-mail: msi.movchan@gmail.com,*

ORCID: 0000-0003-4377-1924

ORCID: 0000-0001-8665-482X

Бережецький О. В.<sup>2</sup>, к.т.н.,  
*E-mail: metallurgy@ukr.net*

Андріанов О. А.<sup>3</sup>, к.т.н.,  
*E-mail: metallurgy@ukr.net*

Шелкунов В.І.<sup>3</sup>, д.е.н., проф.,  
*E-mail: vi@iccu.org*

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного

<sup>2</sup>Товариство з обмеженою відповідальністю «САВ КОМПЛЕКТ»,  
м. Запоріжжя, Україна,

<sup>3</sup>Український національний комітет міжнародної торгової палати  
(ICC UKRAINE) м. Київ, Україна

*Постановка проблеми.* Системи теплозабезпечення, водопостачання і водовідведення є важливою складовою і умовою функціонування населених пунктів, містечок і міст країни. Вищезначені системи є основою інфраструктури, яка безпосередньо відповідає рівню розвитку технічної й технологічної оснащеності в цій галузі. Важливою складовою для кожної системи є вода, водні ресурси. Від їх раціонального використання залежить не лише екологічна безпека, а й життя всього живого на землі, насамперед, людини.

Життєдіяльність людини безпосередньо або тісно пов'язана з функціонуванням великої кількості різноманітних підприємств різних галузей зі значним використанням водних ресурсів в процесі виробництва, насамперед:

- атомна, тепла енергетика, гідроелектростанції;
- гірничозбагачувальні комбінати, фабрики, промислові об'єднання;
- різного роду шахти, кар'єри, рудоуправління;
- електрометалургійні, металургійні заводи, фабрики, комбінати,



об'єднання;

- підприємства машинобудування, харчової та переробної промисловості.

У наведених прикладах систем водного господарства для використання зворотних вод наведені характеристики та умови утворення. На теплових електричних станціях (ТЕС) води оборотного водопостачання, як правило, поділяються на три потоки: господарсько-побутові стічні води, забруднені дощові води і виробничі стічні води. Авторами запропоновано відповідні технологічні способи, в яких перевіряється склад стічних вод і порівнюється з нормативною якістю. Використання розроблених схем кондиціонування зворотних вод та їх повторного використання для технічних потреб дозволяє оптимізувати витрати на системи водного господарства водокористувачів, забезпечити екологізацію виробництва при суттєвому зменшенні скиду зворотних вод та витрати на реагенти, електроенергію і водоспоживання [1, с. 129].

Водні об'єкти країни характеризуються постійно зростаючим техногенним навантаженням переважної більшості промислових підприємств. Постійні об'єми стічних вод, широкий спектр стійких забруднень, утворення забруднень «нового покоління», які утворюються під впливом підвищених температур. Насамперед, це стосується теплотехнічної та теплоенергетичних галузей на яких стійкі забруднення утворюються під впливом значних температурних перепадів. Тому, підпорядкування водовикористання в системах оборотного тепловодопостачання визначають важливу прикладну інженерно-технічну задачу для водного господарства промислових підприємств вищезначених галузей.

Очищення внутрішніх елементів контуру водяного охолодження від старого накипу та недопущення формування нового, безпосередньо в умовах експлуатації печі № 32, цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» становить важливу технічну задачу, яка безпосередньо пов'язана із використанням води в системах оборотного тепловодопостачання. Постійно зростаюча вартість води, у тому числі якісної води, техногенне навантаження на водні об'єкти країни підприємств теплотехнічної і теплоенергетичної галузей потребує дослідження й впровадження в системи оборотного тепловодопостачання сучасних технологій, пов'язаних із вирішенням сучасних техніко-екологічних задач і завдань. Забезпечення екологічної безпеки і досконалості щодо використання води в теплотехніці й визначає актуальність обраного напрямку досліджень.

Зв'язок з важливими науковими та практичними завданнями полягає у захисті та боротьба з накипом на робочих поверхнях елементів контуру водоохолодження печі, що забезпечує екологічну



безпеку водних об'єктів, збільшення міжремонтного періоду експлуатації феросплавної печі, зменшує обсяг та вартість ремонтних робіт.

Використання приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки обумовлено багатьма позитивними якостями, що створюють умови для широкого спектру їх застосування. Наприклад, прилад електромагнітної підготовки води на окремих об'єктах промислових підприємств використано в діяльності:

- ПрАТ «Полтавський ГЗК» – теплосиловий цех - котел ДКВР-20/13, шламовий цех – маслостанції – кожухотрубні теплообмінні апарати, водонагрівачі адмінбудівлі;

- ПрАТ «Запоріжабразив» – пластинчатий теплообмінник компресорного цеху;

- АТ «Запорізький завод феросплавів» – охолодження елементів плавильної печі № 32, цех № 4;

- Зестафонський завод феросплавів (м. Зестафоні, Грузія) – охолодження плавильної печі;

- ВП ЗАЕС ДП НАЕК «Енергоатом», м. Енергодар – теплообмінник дистиляту СК-1;

- ТОВ «Стратегія БМ», м. Київ – захист всіх елементів печі для виплавки титану;

- ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» – кожухотрубні теплообмінні апарати маслоохолодження компресорних станцій;

- БАСЕЙН ДЮСШ № 10, м. Кривий Ріг – захист від бактерій та біовідкладів;

- ТОВ «ДАНОН ДНПРО», м. Херсон – градирня;

- ПрАТ «Оболонь», м. Київ – трубчастий теплообмінник цеху купажу «Живчик» та трубопровід подачі води на компресорну установку, захист від карбонатних та біовідкладів;

- ТОВ ВП «Роганський м'ясокомбінат», м. Харків – захист лінії живлення парових котлів, від карбонатних, біовідкладів та накипу;

- ДП «Антонов», м. Київ – захист лінії охолодження компресорів високого тиску від утворення накипу;

- ХВО ДТЕК «Придніпровська ТЕС», м. Придніпровськ – захист трубопроводу ділянки ХВО від карбонатних та біологічних відкладень;

- КП «КИЇВТЕПЛОЕНЕРГО» – захист трубчатого теплообмінника (ВВП ГВП), Дарницький район м. Київ, від накипу та біологічних відкладів.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблема організації роботи систем оборотного водопостачання присвячено багато наукових робіт провідних вітчизняних та закордонних вчених. Фундаментальними працями з цієї проблеми є роботи Апельцина І.Є., Кучеренко Д.І., Гладкова В.О., Назаряна М. М., Шабаліна О.Ф. та ін. Значний внесок у





розвиток технології застосування очищених вод в системах оборотного водопостачання України зробили такі вчені: Епоян С.М., Душкін С.С., Пантелят Г.С., Найманов А.Я., Терновцев В.О., Висоцкий С.П., Гвоздяк П.І., Куліков М. І. та ін. [2-4].

Проблема підготовки води в системах оборотного тепловодопостачання, внаслідок її складності становить важливу водогосподарську проблему для промислового сектору країни. Певного рівня успіхів досягнуто із використанням системи підготовки води «Гідрофлоу», яка дозволяє оптимізувати перепади енергії/палива, скоротити час виробничих простою технологічного обладнання, зменшення витрат на технічне обслуговування, попереджувати передчасне зношування обладнання. Аналіз літературних джерел свідчить що, враховуючи проблеми сьогодення у галузі систем тепловодопостачання, існує потреба удосконалення й постійного розвитку або навіть розробки нових інженерно-технічних рішень, які спрямовані на створення умов експлуатації відповідно до науково-технічного рівня з урахуванням останніх досягнень науки і техніки у цій галузі.

У пристрої для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування передбачено використання як основного, так і допоміжного обладнання, яке має підвищити строк експлуатації обладнання за рахунок оброблення функціональних поверхонь електричним струмом. Запропоновано конструкцію механічного пристрою, яка передбачає періодичне оброблення внутрішніх металевих поверхонь круглого перетину та/або наближених до цієї форми [2].

Для оброблення внутрішніх металевих поверхонь використано також інші способи, пристрої та обладнання, які дозволяють інтенсифікувати процес оброблення функціональних поверхонь за рахунок раціональної підготовки води в системі оборотного тепловодопостачання У пристрої контролю, захисту та очищення внутрішньої поверхні теплообмінного устаткування передбачено комплексний підхід до захисту металевих поверхонь [3].

Інженерні рішення, які за фізичною сутністю відповідають застосуванню імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води потребують демонтажу, а розбирання-складання обладнання потребує повної зупинки виробництва або дублювання комплексу обладнання, які призводять до значних втрат часу та додаткових трудових витрат при проведенні планово-попереджувальних ремонтів (ППР). Імпульсна високочастотна електромагнітна обробка води забезпечує підготовку і використання води в системах оборотного тепловодопостачання без порушення суцільності металевих поверхонь та не потребує зупинки виробництва.



Пристрій для електронної обробки рідини в трубопроводі включає такі основні елементи, а саме: перший та другий з магнітопровідного матеріалу, що рівномірно монтується навколо/впоперек трубопроводу. Пристрій генерує імпульси перемінної частоти навколо трубопроводу та створює магнітне поле в рідині, яка підлягає обробці, в обидва боки від місця розташування приладу на трубопроводі [4].

Спосіб інгібування корозії щонайменше в одній необхідній області витягнутої металевої конструкції, що включає застосування високочастотного електромагнітного сигналу до структури таким чином, що в структурі встановлюється хвиля (ефект стоячої хвилі) з потенціалом гальмування корозії на необхідну область (і) розповсюдження структури. Цей спосіб переважно застосовується до трубопроводу нафтових свердловин, щоб запобігти корозії зовнішньої поверхні трубопроводу поблизу зони видобутку нафти [5].

У конструкції приладу встановлено електроди в області електропровідної рідини, яка протікає по трубі. Прилад включає: а) серцевину з магнітопровідного матеріалу, що оточує трубу, б) енергетичну первинну котушку, яка створює електричне поле всередині рідини, в) вторинний прохід, з'єднаний в області протікання рідинного середовища, і обмеження потоку рідини у вторинному проході до створення електричного опору, уздовж якого через рідину протікає електричний струм [6].

Відомий спосіб і пристрій для обробки рідини, такої як вода в трубопроводі, з метою інгібування утворення накипу, корозії, де сигнали радіочастоти використовуються для створення електромагнітного поля, що має, як правило, кругові потоки в потоку у співвісному зв'язку з трубопроводом, утворює поле, яке розповсюджується вздовж осі трубопроводу. Поле створюється сердечником, встановленим у корпусі, який охоплює трубопровід [7].

Аналіз складу забруднень мікробів системи охолоджуючої води ядерного випробувального реактора з акцентом на сульфатвідновлюючих бактеріях дозволяє обрати правильне інженерне рішення щодо підготовки води в системах енергетичних підприємств [8, 11].

Проблема біообрастання і мікробіологічної корозії в тепложидкому теплообміннику та системі охолодження води ядерного випробувального реактора відіграє важливу роль. Розроблення заходів, щодо запобігання біообрастанню є важливою прикладною задачею [9].

Зовнішній вплив на шари відкладів є ефективним, але його використання пов'язано з певними технічними труднощами. Вплив ультразвукової обробки ультразвуком та його використання з гіпохлоритом натрію як протиобрастаючого методу проти личинок та мідій *Mytilus edulis*. Зовнішній вплив на шари відкладів є ефективним,



але його використання пов'язано з певними технічними труднощами. [10].

Формування біоплівки в басейнах з відпрацьованим ядерним паливом та біоремедіація радіоактивної води становить серйозну не лише технічну, а й екологічну загрозу для водних об'єктів. Небезпека визначається умовами експлуатації інженерних споруд з ядерним паливом для енергетичної галузі [12].

Біозабруднення в системі охолоджуючої води атомної електростанції та її наслідки для безпеки навколишнього природного середовища розглядаються в контексті забезпечення енергетичної безпеки. Біологічні забруднення внаслідок значних температурних перепадів здатні не лише до стійкості, а поступовому накопиченні і створення негативного впливу на внутрішні робочі металеві поверхні обладнання [13].

Варіанти управління біообрастанням для систем охолодження, які розглядаються в загальному використанні води і водних ресурсів. Біологічна плівка, яка швидко утворюється на металевих частинах обладнання, стійка і має тенденцію для негативного впливу на гідродинамічні параметри водних потоків в середині трубопроводів систем тепловодопостачання [14].

Дезінфекція стічних вод за технологією HYDROFLOW дозволяє значно розширити коло об'єктів, які використовують водні ресурси. Магнітне оброблення води на вході до систем повторного і багаторазового використання води дозволяє суттєво продовжити строк експлуатації технологічного обладнання для енергетичних галузей [15].

Характерною ознакою біологічних забруднень, які утворюються в системах охолодження, що використовують солону морську воду, ще більш ускладнює і скорочує термін експлуатації обладнання у цілому. Біозабруднення та управління ним в системі охолодження води з охолодженою морською водою електростанцією становить важливу задачу для енергетичної галузі [16].

Адгезійні властивості характеризують умови експлуатації технологічного обладнання в широкому температурному перепаді переважної більшості атомних станцій. Температурний режим і конденсат, який утворюється і притаманні водним розчинам, що постійно знаходяться в середині теплообмінних апаратів. Вплив застосованого потенціалу для контролю адгезії бактерій на титановому конденсаторному матеріалі атомних електростанцій розглянуто авторами [17].

*Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.* Використання води в системі оборотного тепловодопостачання складається з декількох взаємопов'язаних технологічних операцій:



підготовки та використання води, періодичного контролю параметрів і режимів у роботі кожухотрубного теплообмінного апарату та ін. Тому розроблення технологічної схеми, спрямованої на забезпечення ефективності в роботі системи оборотного тепловодопостачання *визначає науко-прикладне значення проведення промислових випробувань і подальшого використання отриманих результатів.*

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Метою випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» є доведення на практиці, в умовах реального виробництва, ефективності його роботи шляхом демонстрації, за погоджений період часу, суттєвого зменшення товщини шару відкладів на внутрішніх стінках досліджуваних водоохолоджуючих елементів феросплавної печі з відповідним покращанням процесу тепловідведення з цих елементів та підсумковою можливістю збільшення регламентних періодів ППР, що, у свою чергу, дозволить покращити економічні та технологічні показники ремонтів та експлуатації феросплавних печей.

Згідно із затвердженою Головою Правління АТ «Запорізький завод феросплавів» «Програмою проведення пілотних випробувань приладу електромагнітної обробки води «Hydroflow Industrial (test)» тестування відбувалося на внутрішній півфазі електроду №2 печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» [18].

*Основна частина.* Умови експлуатації системи охолодження печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів». Згідно з виробничими планами та технологічними картами, обладнання працювало, більшість часу, у сталому режимі та виробляло сплав ФМн-70. Процес виробництва цього сплаву, згідно із регламентом, є найбільш жорстким з точки зору температурних (а відповідно – водоохолоджуючих) параметрів (табл. 1).

Регламентом виробничих випробувань визначено наступні умови їх проведення: температура води на вході 24-32°C та на температура води виході 40-60°C; типовий тиск 2,5-3,0 кгс/см<sup>2</sup> і витрати води на піч 400 м<sup>3</sup> /год.

*Стан водоохолоджувальних елементів печі №32 на початок випробувань.*

Перед монтажем ремонтних півкілець, їх порожнина, у доступних місцях, зачищається механічним способом. Поверхні порожнин є дуже шорсткими, що сприяє підвищеному накипоутворенню та зменшенню вільного отвору для циркуляції охолоджуючої води. У підсумку спостерігається погіршення тепловідводу від навантажених елементів печі, зменшення зусиль на пружинах, що притискають щоби до електроду, внаслідок чого збільшуються витрати електроенергії, зростає вірогідність виникнення аварійних ситуацій та скорочення міжремонтного періоду, що знижує ефективність печі.

Необхідно додатково підкреслити, що прилад «Hydroflow Industrial



(test)» було змонтовано не на тільки-но виведену з ремонту піч, а після місяця її роботи в звичайному режимі. Таким чином, весь місяць на водоохолоджуючих елементах печі відбувалися інтенсивні процеси накипоутворення та зменшення розміру вільного отвору для циркуляції води [20].

Таблиця 1.

Показники якості води другого оборотного циклу умовно чистих вод

Другий оборотний цикл умовно-чистих вод		
рН	ед.рН	8,38
Прозорість	см	15
Жорсткість	ммоль/дм <sup>3</sup>	14,93
Лужність	ммоль/дм <sup>3</sup>	2,86
Хлориди	мг/дм <sup>3</sup>	123,4
Кальцій	ммоль/дм <sup>3</sup>	11,17
Магній	ммоль/дм <sup>3</sup>	4,34
Зважені в-ва	мг/дм <sup>3</sup>	24
Сухий залишок	мг/дм <sup>3</sup>	1358
Окислюваність	мг/дм <sup>3</sup>	30,37
Сульфати	мг/дм <sup>3</sup>	560
Марганець	мг/дм <sup>3</sup>	0,15
Залізо загальне	мг/дм <sup>3</sup>	0,25
Кремній	мг/дм <sup>3</sup>	11,25

Для чистоти експерименту було проведено порівняння із півкільцями печі №38, які відпрацювали без захисту 110 діб, детальний вигляд яких зафіксовано у «Звіті обстеження півкільць печі №38 цеху №4 АТ «Запорізький завод феросплавів» у період ППР», затвердженого керівництвом заводу [18].

Завершення випробувань. Прилад «Hydroflow Industrial (test)» пропрацював безпосередньо до закінчення процесу експлуатації печі №32 у зв'язку з її плановим виводом у ППР та був демонтований у 9 год. 00 хв. «11» квітня 2019р.

Перед демонтажем, за допомогою осцилографу, було здійснено контрольну фіксацію форми та потужності сигналу Hydropath на контрольному та суміжному контурах водоохолодження. На контрольному контурі сигнал Hydropath за формою та потужністю повністю співпадав із паспортним, на суміжному – сигналу практично не було. Процес демонтажу було зафіксовано представниками ТОВ «Гідрофлоу Україна» [20].

Опис стану елементів, що порівнюються. Після завершення

випробувань було проведено зовнішній огляд з фотофіксацією та порівнянням між собою аналогічних, розташованих на захищеному та незахищеному сигналом Hydropath півкільцях.

Особливу увагу було приділено ретельному аналізу стану півкільця у різних фазах їх експлуатації, підсумки якого було покладено в основу даного звіту.

Розкриття півкільця показало наступне:

1. Порівняння стану півкільця.

Для порівняння, із застосуванням фото-фіксації, було співставлено стан внутрішніх водоохолоджуючих поверхонь наступних півкільць:

А. Півкільце, що раніше експлуатувалося у феросплавній печі, порожнину якого було розкрито, очищено механічним шляхом під час ППР та підготовленого до монтажу на піч №32 на час випробувань після виходу з ремонту;

Б. Півкільце півфази печі №32, яке протягом 105 діб безпосередньо піддавалося дії сигналу Hydropath;

В. Півкільце півфази печі №32, яке протягом 105 діб опосередковано піддавалося дії сигналу Hydropath;

Г. Раніше демонтоване після експлуатації протягом 110 діб півкільце печі №38, яке не піддавалося дії приладу «Hydroflow Industrial (test)» у типовому стані.

Стан півкільця печі №38 після 110 діб експлуатації було зафіксовано раніше в «Акті обстеження півкільця печі №38, цех №4, АТ «Запорізький завод феросплавів» у період ППР», що додається [20].

Орієнтовний розмір вільного отвору для проходження води у верхній частині протоки цього півкільця складає лише 5x40 мм (площа = 200 мм<sup>2</sup>), що є явно недостатнім для водоохолодження печі.

Доцільність застосування для порівняння півкільць з печі, необробленої сигналом Hydropath, обґрунтовано у Примітці до п.4.4. Програми випробування.



а)  
до випробування



б)  
після випробування

Рис. 1. Стан елемента півкільця

Підсумки порівняння стану півкільця:

А. Стан півкільця, яке пройшло процес попереднього механічного очищення та підготовки і було встановлено на піч №32 перед її вводом до дослідно-випробувальної експлуатації:

Б. Півкільце печі №32, що було безпосередньо піддано дії сигналу Гідронас. Розтин півкільця, демонтованого з печі №32 після тестових випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» упродовж 105 діб з 26 грудня 2018р. по 10 квітня 2019р. (загальний міжремонтний термін експлуатації печі складає 136 діб (з 25 листопада 2018 р. по 10 квітня 2019 р.), показав наступне:

1.Верхня частина півкільця

З наведених результатів випливає, що завдяки дії приладу «Hydroflow Industrial (test)», досягнуто відсутність обростання вільного отвору протоки верхньої частини бобишки відкладами.

У порівнянні зі станом півкільця печі №38, що відпрацювало 110 діб без впливу приладу, вільний розмір отвору протоки суттєво збільшено з 5x40 мм (площа = 200 мм<sup>2</sup>) до 38x180 (площа = 7000 мм<sup>2</sup>), тобто у 35 раз [12].



Рис. 2. Стан елемента півкільця



Необхідно підкреслити, що такі порівняльні результати отримано при терміні успішної експлуатації підконтрольного півкільця на 24% більшому, ніж у порівняльному зразку з аналогічної печі №38, та на 13,3% більшому, ніж у регламентований період.

Показники охолодження контуру та візуальний зовнішній огляд стану порожнини півкільця дозволяють стверджувати, що експлуатацію півкільця впевнено можна було б продовжити і надалі, поза межами регламенту, якби не загальна зупинка печі №32 з інших причин.

*Висновки.* Наочно видно, що збільшення площі перетину вільного отвору для протоку води у 35 разів є яскравим доказом позитивного впливу застосування приладу «Hydroflow Industrial (test)» на даному водоохолоджуючому контурі.

Необхідно також врахувати, що прилад «Hydroflow Industrial (test)» було встановлено на контрольний водоохолоджуючий контур не на весь період ППР, а після 31 доби експлуатації у традиційному, тобто без захисту сигналом Hydropath, режимі.

Весь цей час (30%) у контурі відбувалися звичайні інтенсивні процеси відкладення у твердому вигляді на внутрішній поверхні протоку солей жорсткості, часток окалини, корозії металу та інших з відповідним зменшенням вільного перетину отвору та погіршенням тепловідведення з елементів печі.

Таким чином, головна мета випробувань приладу «Hydroflow Industrial (test)» була досягнута за рахунок беззаперечного доведення ефективності його роботи, шляхом повної ліквідації шару відкладів на внутрішніх стінках досліджуваних водоохолоджувальних елементів феросплавної печі з відповідним покращанням процесу тепловідведення з цих елементів та підсумковою можливістю збільшення регламентних періодів (ППР).

Дані, наведені у звіті, переконливо доводять, що довготривалі виробничі випробування приладу електронної обробки води «Hydroflow Industrial (test)» продемонстрували наступні висновки [18]:

1. Високу ефективність цього методу при видаленні наявних та запобіганні утворення нових карбонатних відкладів на виробничих об'єктах феросплавної промисловості, зокрема, системах водоохолодження феросплавних печей.

2. Можливість досягнення суттєвого покращання процесів водоохолодження та тепловідведення, зменшення теплового навантаження на обладнання, підвищення економічної ефективності ремонтів та експлуатації основного та допоміжного виробничого обладнання у металургії за рахунок зменшення трудовитрат та збільшення міжремонтних періодів.

3. Встановлення приладу електронної обробки води «Hydroflow Industrial (test)», в певній мірі, впливає на уповільнення процесів





утворення накипу на суміжних контурах водоохолодження елементів печей, але не є достатнім для гарантованого збільшення періодів роботи між регламентами, які визначають планово-попереджувальні роботи (ППР) обладнання.

4. Додатковий ефект від роботи системи Гідрофлору – це захист запірної арматури та патрубків подачі води на контур печі.

Одним із головних висновків промислових випробувань необхідно визначити наступне. Внаслідок досягнення головної мети випробувань, яка полягає не лише в отриманні позитивних результатів досліджень, а й отриманні наочних результатів, дозволяє рекомендувати застосування приладів «Hydroflow» у металургії, зокрема – у феросплавній галузі

#### Список використаних джерел

1. Екологічні, технологічні та економічні аспекти запровадження ресурсозберігаючих технологій кондиціонування зворотних вод і осадів / О. М. Коцар та ін. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*. 2014. Вип. 24. С. 126-134.

2. Пристрій для захисту та очищення внутрішніх поверхонь теплообмінного устаткування: патент 141719 Україна: МПК<sup>7</sup> B03C 1/00, B03C 1/035 (2006.01), B08B 7/02 (2006.01), F28G 7/00 / В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. В. Бережецький, О. А. Андріанов. № 2019 09615; заявл. 03.09.2019, опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

3. Пристрій очищення внутрішньої поверхні трубопроводів від відкладень: патент 141763 Україна: МПК<sup>7</sup> B08B 9/02 (2006.01) / В. М. Кюрчев, О. В. Бережецький, О. А. Андріанов, С. І. Мовчан. № 2019 10357; заявл. 15.09.2019, опубл. 27.04.2020, Бюл. № 8.

4. Fluid treatment method and apparatus: Pat. № 20080185328 U.S.: International Classification: B01D 35/06 (20060101) / Daniel Stefanini. № 11/793,706. Filed: Dec 20, 2005. Publication Date: Aug 7, 2008.

5. Inhibition of corrosion of structures: Pat. № 20100101933 U.S.: International Classification: C23F 15/00 (20060101) / Daniel Stefanini (Nottingham). № 12/529,452. Filed: Feb 29, 2008. Publication Date: Apr 29, 2010.

6. Apparatus for establishing electrodes in a liquid: Pat. № 20150191373 U.S.: International Classification: C02F 1/48 (20060101) / Daniel Stefanini. № 14/662,562. Filed: Mar 19, 2015. Publication Date: Jul 9, 2015.

7. Method and apparatus for treating fluid with radio frequency signals: Pat. № 5667677 U.S.: International Classification: C02F 148 / Daniel Stefanini (Nottingham NG8 1FR). № 8/619,543. Filed: May 3, 1996. Date of Patent: Sep 16, 1997.

8. Balamurugan P., Hiren Joshi M., Rao T. S. Microbial fouling



community analysis of the cooling water system of a nuclear test reactor with emphasis on sulphate reducing bacteria. *Biofouling*. 2011. Vol. 27, № 9. P. 967-978. DOI: 10.1080/08927014.2011.618636.

9. Biofouling and microbial corrosion problem in the thermo-fluid heat exchanger and cooling water system of a nuclear test reactor / T. S. Rao et al. *Biofouling*. 2009. Vol. 25, № 7. P. 581-591. DOI: 10.1080/08927010903016543.

10. Haque M. N., Kwon S. Effect of ultra-sonication and its use with sodium hypochlorite as antifouling method against *Mytilus edulis* larvae and mussel. *Environ Geochem Health*. 2018. Vol. 40, № 1. P. 209-215. DOI: 10.1007/s10653-016-9894-1.

11. Karley D., Shukla S. K., Rao T. S. Microbiota of spent nuclear fuel pool water with emphasis on their biofilm forming ability on stainless steel (SS-304L). *Journal of Biosciences*. 2019. Vol. 44, № 5. P. 108-117. DOI: 10.1007/s12038-019-9937-8.

12. Sarró M. I., García A. M, Moreno D. A Biofilm formation in spent nuclear fuel pools and bioremediation of radioactive water. *Int Microbiol*. 2005. Vol. 8, № 3. P. 223-230. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16200501/> (дата звернення: 10.10.2020).

13. Satpathy K. K., Jebakumar K. E., Bhaskar S., Kannan S. E. Biofouling in cooling water system of nuclear power plant and its safety consequences: a perspective. India: Bhabha Atomic Research Centre. 2002. 421 p. URL: [https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig\\_q=RN:34011487](https://inis.iaea.org/search/search.aspx?orig_q=RN:34011487) (дата звернення: 10.10.2020).

14. Biofouling control options for cooling systems. URL: <https://www.powermag.com/biofouling-control-options-for-cooling-systems/> (дата звернення: 10.10.2020).

15. Blazo C. Wastewater Disinfection with HYDROFLOW Technology. University of New Orleans Theses and Dissertations. 2013. URL: <https://scholarworks.uno.edu/td/1611> (дата звернення: 10.10.2020).

16. Biofouling and its Control in Seawater Cooled Power Plant Cooling Water System - A Review / K. K. Satpathy et al. *Nuclear Power*. 2010. P. 191-242. DOI: 10.5772/9912.

17. Effect of Applied Potential to Control Bacterial Adhesion on Titanium a Condenser Material of Nuclear Power Plants / S. D. Ruth Nithila et al. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2012. Vol. 65. P. 251–258. DOI: 10.1007/s12666-012-0126-9.

18. Звіт щодо виконання Програми дослідно-промислових випробувань електромагнітної обробки води приладом «Hydroflow Industrial (test)» внутрішній полуфазі електроду № 2 печі № 32 цеху № 4 АТ «Запорізький завод феросплавів» від грудня 2018 р. / розробники: О. А. Андріанов, О. В. Бережецький, О. С. Толстов. Запоріжжя, 2019. 19 с.



19. Промислові випробування приладу електромагнітної обробки води в системі оборотного тепловодопостачання / В. М. Кюрчев, С. І. Мовчан, О. А. Андріанов, О. В. Бережецький. *Меліорація та водовикористання. Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання: матеріали XI наук.-практ. конф.* (м. Дніпрорудне, 2 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 7-17.

20. Відгук щодо ефективності застосування приладу електромагнітної обробки води «HydroflowIndustrial (test)» під час проведення пілотних випробувань в АТ «Запорізький завод феросплавів». Запоріжжя, 2019. 2 с.

**ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ ПРИЛАДУ  
ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ВОДОПІДГОТОВКИ  
В СИСТЕМІ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОПОСТАЧАННЯ  
Кюрчев В. М., Мовчан С. І., Бережецький О. В., Андріанов О. А.,  
Шелкунов В. І.**

*Анотація.*

Розглянуто питання дослідно-промислових випробувань приладу імпульсної високочастотної підготовки та використання технічної води контуру водяного охолодження акціонерного товариства «Запорізький завод феросплавів». Прилад використовувався з метою очищення внутрішніх елементів контуру водяного охолодження від старого накипу та недопущення формування нового, безпосередньо в умовах експлуатації печі.

Отримані результати випробувань приладу імпульсної високочастотної електромагнітної обробки води в робочому режимі, які проводилися у жорстких умовах працюючої металургійної печі під час реального виробничого процесу, наочно довели надійність та ефективність процесу захисту та боротьби з накипом на робочих поверхнях елементів контуру водоохолодження печі, забезпечуючи екологічну безпеку водних об'єктів, збільшення міжремонтного періоду експлуатації феросплавної печі, зменшення обсягів та вартості ремонтних робіт.

**Ключові слова:** контур водоохолодження, металургійна піч, імпульсна високочастотна електромагнітна обробка води, накип, біовідкладення, планово-попереджувальні роботи, система оборотного водопостачання.

**ПРОМЫШЛЕННАЯ АПРОБАЦИЯ  
ПРИБОРА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ВОДОПОДГОТОВКИ  
В СИСТЕМЕ ОБОРОТНОГО ТЕПЛОВОДОСНАБЖЕНИЯ  
Кюрчев В. Н., Мовчан С. И., Бережецкий О. В., Андрианов О. А.,  
Шелкунов В. И.**

*Аннотация.*

Рассмотрены вопросы исследовательско-промышленных испытаний прибора импульсной высокочастотной подготовки и использования технической воды акционерного общества «Запорожский завод ферросплавов». Прибор использовался с целью очистки внутренних элементов контура водного охлаждения от старой накипи и предотвращения формирования новых отложений, непосредственно в условиях эксплуатации печи.



Полученные результаты испытаний прибора импульсной высокочастотной электромагнитной обработки воды в рабочем режиме, которые проводились в жестких условиях работающей металлургической печи во время реального производственного процесса, наглядно доказали надежность и эффективность процесса защиты и борьбы с накипью на рабочих поверхностях элементов контура водоохлаждения печи, обеспечивающие экологическую безопасность водных объектов, увеличение межремонтного периода эксплуатации ферросплавной печи, уменьшение объемов и стоимости ремонтных работ.

**Ключевые слова:** контур водоохлаждения, металлургическая печь, импульсная высокочастотная электромагнитная обработка воды, накипь, биотложения, планово-предупредительные работы, система оборотного водоснабжения

## **INDUSTRIAL TESTS OF ELECTROMAGNETIC WATER TREATMENT DEVICE IN RETURN HEAT SUPPLY SYSTEM**

**Kiurchev V., Movchan S., Berezhetsky O., Andrianov O., Shelkunov V.**

### *Summary.*

The issue of experimental and industrial tests of the device of pulse high-frequency preparation and use of technical water of the circuit of water cooling of the inner half-phase of the electrode №2 of the furnace №32 of the shop №4 of the joint-stock company "Zaporizhzhya Ferroalloy Plant" is considered. The device was used to clean the internal elements in the water cooling circuit from the old scale and prevent the formation of new, directly in the operation of the furnace. The test results proved the reliability, efficiency and duration of the processes of protection and control of scale and biofouling on the working surfaces of the circuit elements without the use of mechanical cleaning and the use of chemical reagents.

The technology of chemical-free water treatment in the water cooling circuit of metallurgical furnaces is based on the use of selected, installed and controlled device of pulsed high-frequency electromagnetic water treatment, which is non-intrusively (externally, and is connected to the 220V AC mains.

The technology of chemical-free water treatment in the water cooling circuit of metallurgical furnaces is based on the use of selected, installed and controlled pulsed high-frequency electromagnetic water treatment device, which is non-intrusively (from the outside, without violating the continuity of the pipe or product) mounted on the pipe just before the cooling water enters the test facility and connecting to the AC mains voltage of 220V.

The obtained results of tests of the device of pulsed high-frequency electromagnetic water treatment in working mode, which were carried out in harsh conditions of the working metallurgical furnace during the actual production process, clearly proved the reliability and efficiency of the process of protection facilities, increasing the service life of the ferroalloy furnace, reducing the volume and cost of repair work.

**Key words:** water cooling circuit, metallurgical furnace, pulsed high-frequency electromagnetic water treatment, scale, biodeposition, planned and preventive works, circulating water supply system.



УДК 631.514

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВАРІАНТУ БОРОНИ З ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Пастушенко С. І., д.т.н.

ORCID: 0000-0002-1996-3558

Клендій М. Б., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8271-5381

Клендій М. І.

ORCID: 0000-0003-0762-7992

e-mail: klendiy@ukr.net

*Відокремлений підрозділ Національного університету біоресурсів і природокористування України «Бережанський агротехнічний інститут»*

*Постановка проблеми.* Ґрунтообробні робочі органи сільськогосподарських машин створюють необхідні умови для інтенсивного росту і розвитку рослини: у зв'язку з обробіткою ґрунту полегшується доступ кисню і вологи у ґрунт, коренева система швидше розвивається і тим самим рослиною інтенсивно засвоюються макро- та мікроелементи з ґрунту, що веде до швидшого розвитку рослини і, як результат, потенціал біологічного врожаю зростає. Похідними від підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки є врожайність (забезпечення потреб рослин в цілому) і собівартість продукції (витрати паливно-мастильних матеріалів, продуктивність, затрати робочого часу).

Актуальним постає питання зменшення собівартості виконання технологічних операцій при збереженні продуктивності роботи сільськогосподарської техніки та якості їх виконання. Тому насущним є створення нових сільськогосподарських машин, їх робочих органів та проведення відповідних досліджень і розроблення рекомендацій для ефективного вирощування продукції рослинництва.

*Аналіз останніх досліджень.* Для обертання і кришіння ґрунту, перерізання пожнивних решток, перемішування їх із ґрунтом використовуються сферичні ґрунтообробні диски [1–3]. Від відстані між дисками, їх конструктивних параметрів і кутів установки залежить форма профілю обробленої смуги ґрунту та висота гребенів. Диск встановлюють так, щоб між площиною розташування леза (крайки диска) і напрямком руху агрегату був певний кут атаки. Для покращення перемішування диск відхиляють ще й у вертикальній площині, тому кожен диск має індивідуальне кріплення осі обертання до рами. Якщо застосувати гвинтову поверхню, то можна очікувати

аналогічні результати роботи, але її можна кріпити на спільному валу, подібно до батареї дисків луцильника.



Рис. 1. Загальний вигляд гвинтового робочого органу



Рис. 2. Загальний вигляд експериментального взірця борони з гвинтовими робочими органами

Для поверхневого обробітку ґрунту широко застосовують дискові робочі органи. Проектування і розрахунок дискових ґрунтообробних знарядь ґрунтово розкрив П.М. Заїка [4]. Також розроблено аналітичну модель установки ґрунтообробних сферичних дисків для визначення геометричних та технологічних характеристик [5]. У працях більш вузького спрямування досліджуються різні аспекти покращення якості обробітку ґрунту такими знаряддями [6–9].



Визначено науковцями і перспективи подальшого вдосконалення дискових та інших ґрунтообробних знарядь [10, 19, 20, 21, 22]. В працях [11,12] теоретично обґрунтовано конструкцію ґрунтообробного знаряддя, в якому, в якості робочих органів використано гвинтові поверхні із відсіку розгорнутого гелікоїда.

Намагання зменшити тяговий і питомий опір сільськогосподарських машин вимагає постійного дослідження більш досконалих, з точки зору енергоємності, робочих органів і технологій проведення польових робіт.

*Формулювання мети статті.* Визначення тягового опору експериментального варіанту борони з гвинтовими робочими органами.

*Основна частина.* На основі теоретично одержаних конструктивних параметрів витків гелікоїда, було розроблено конструкцію і виготовлено гвинтові робочі органи борони, конструкцію яких показано на рис. 1, а також експериментальний варіант борони з гвинтовими робочими органами (рис. 2) [11, 12]. В таблиці 1 представлено технічну характеристику борони з гвинтовими робочими органами.

Таблиця 1

Технічна характеристика борони з гвинтовими робочими органами

Параметр	Значення
Конструктивна ширина захвату, м	1,3
Необхідна потужність трактора, к.с.	від 40
Агрегатування з трактором	начіпне
Маса , кг	172
Кількість витків гелікоїда, шт	10
Зовнішній діаметр гелікоїда, мм	562-570
Глибина обробітку, см	3 - 12
Робоча швидкість, км/год	7...17
Габаритні розміри в транспортному положенні (L x B x H).	2090 x 1430 x 1250

Тяговий опір є величиною, яка постійно змінюється в процесі роботи. Усі фактори, які впливають на тяговий опір машини, можна класифікувати наступним чином: природно-кліматичні (тип і стан ґрунту, рельєф, кам'янистість, метеорологічні умови); конструкційні (тип, форма та кількість робочих органів, матеріал, з якого вони виготовлені та технології виготовлення, вага машини, тип і конструкція ходового агрегату, тощо); експлуатаційні (технічний стан машини, правильність регулювань, ступінь зношення робочих органів, тощо).



Рис. 3. Загальний вигляд перетворювача частоти Schneider Electric ALTIVAR

Визначення тягового опору, пропонованої борони з гвинтовими робочими органами, проводилось в ґрунтовому каналі розмірами  $8,5 \times 30$  м (довжина контрольного відрізка  $l_k = 25$  м), використовуючи перетворювач частоти Altivar 71 та програмне забезпечення Power Suite v.2.5.0.

Короткі характеристики перетворювача частоти Schneider Electric ALTIVAR 71 (рис. 3) з потужністю від 0.75 до 630 кВ наведено [14].

Підключення пристрою до ПК здійснюється за допомогою кабелю зв'язку VW3-A8106, який з'єднує роз'єм на лицьовій панелі. Приєднання ПК до пристрою проводиться з головного вікна Power-Suite за допомогою кнопки Connect та вибору віртуального пристрою в папці My device.

Загальний вигляд експериментальної установки та обладнання для визначення тягового опору пропонованої борони з гвинтовими робочими органами і отримання результатів зображено на рис.4.

Борона з гвинтовими робочими органами 8 приводилась в рух за допомогою троса 6, який в процесі переміщення намотувався на барабан 5, що закріплений на тихохідному валу редуктора 4, який приводиться в рух електродвигуном 3. Для пуску двигуна і регулювання частоти його обертання використовували перетворювач частоти Altivar 71 (1) та програмне забезпечення Power Suite v.2.5.0, що містилося в ПК (2). Електродвигун 3 і редуктор 4 жорстко закріплені на початку ґрунтового каналу для того, щоб бути нерухомими, а рухомою була тільки борона.



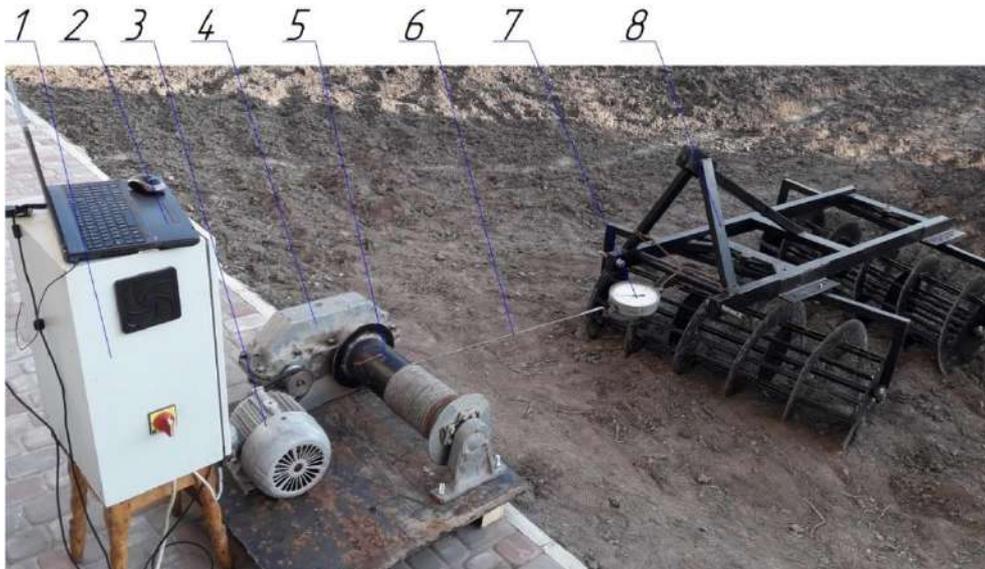


Рис. 4. Загальний вигляд експериментальної установки та обладнання для визначення тягового опору борони з гвинтовими робочими органами

Після завершення процесу переміщення борони з гвинтовими робочими органами у вікні програми Power Suite на дисплеї комп'ютера отримували дані про зміну крутного моменту та потужності двигуна в часі.

Результати отримували у форматі графічних залежностей у вікні програми дисплея комп'ютера рис. 5.

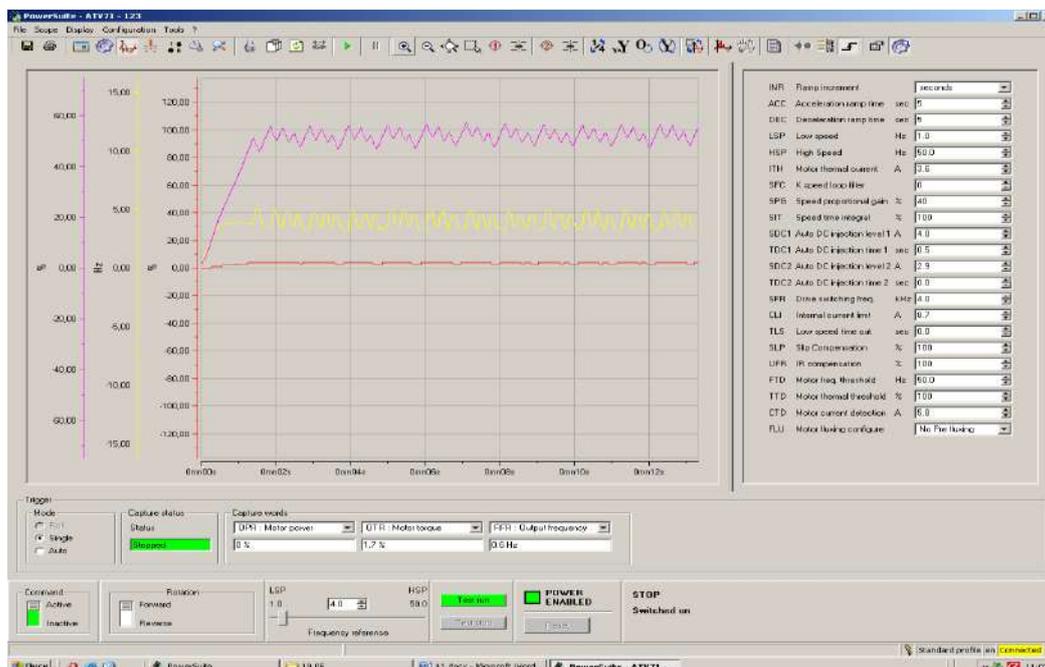


Рис.5. Вікно програми з отриманими результатами



Для аналізу отриманих результатів було побудовано графічні залежності горизонтальної складової  $P_x$  сил опору від швидкості руху борони  $V$ , при різних величинах кута атаки батареї гвинтових робочих органів та глибини обробітку  $h$ . Для побудови графічних залежностей використовували пікові (максимальні) значення, отриманих в результаті досліджень даних.

Величини крутного моменту і потужності двигуна фіксувались у відсотках від номінальних. Потужність двигуна визначалась із добутку номінальної потужності двигуна на максимальне відсоткове значення для вибраного режиму. Для визначення номінального крутного моменту використовувалась відома формула:

$$M_n = \frac{9554 N_n}{n} (Нм),$$

де  $N_n$  – номінальна потужність двигуна (кВт);

$n$  – частота обертання (об/хв).

Для нашого випадку:  $M_n=14,39Нм$ .

Для визначення горизонтальної складової  $P_x$  сили тягового опору використовувалась відома формула:

$$P_x = \frac{M_n}{R_b} (Н),$$

де  $R_b$  – радіус барабана для змотування канату.

Перевищення номінальної потужності та крутного моменту пояснюється тим, що перетворювач частоти може короткочасно перевищувати свій номінальний струм до 170%. Якщо перетворювач вибрано із запасом, то 170% перетворювача можуть становити 210% перевантаження двигуна.

Потрібно також відмітити, що крутний момент перетворювачем розраховується за математичною моделлю і похибка може сягати 20% (або 5% в режимі зі зворотнім зв'язком з енкодера).

Схема досліду: виконання технологічного процесу агрегатом з метою поверхневого розпушування ґрунту, закриття вологи, загортання насіння, знищення бур'янів, а також для вирівнювання мікрорельєфу, створеного попереднім обробітком. Кількість повторень – три.

Мінімальна довжина шляху агрегату складала 30 м. Її визначено із умов, щоб допустима похибка не перевищуватиме 2%, а надійність дорівнювала 0,95.

В експериментальних дослідженнях використовували площинний спосіб, який забезпечує визначення результуючої сили, що діє між електродвигуном з редуктором та бороною, в одній площині (поздовжньо-вертикальній).

Перед проведенням кожного етапу експерименту, борона з гвинтовим робочим органом була розташована в крайньому правому положенні, ґрунт в каналі попередньо готувався за показаннями твердоміру.

Результати досліджень в ґрунтовому каналі пропонованої борони з гвинтовим робочим органом (рис. 5) висвітлювались у вікні дисплея комп'ютера.

Далі, за піковими значеннями, отримані результати фіксувались в таблицях. Досліди проводились для чотирьох швидкостей переміщення борони, а саме:  $V = 4,0; 6,0; 8,0$  і  $10,0$  км/год. Для зміни швидкості переміщення борони через перетворювач частоти змінювали частоту напруги, яка подавалась на двигун.

За результатами отриманих досліджень побудовані графічні залежності зміни величини сили тягового опору  $P_x$  від швидкості руху борони  $V$ , при різних величинах кута атаки  $\beta$  робочих гвинтових органів, який рівний сумі кута розміщення батареї гвинтових робочих органів відносно напрямку руху  $\varphi$  і  $\varphi_R$  – кута підйому зовнішньої гвинтової лінії, тобто кута підйому ріжучої крайки та глибини обробітку  $h$ .

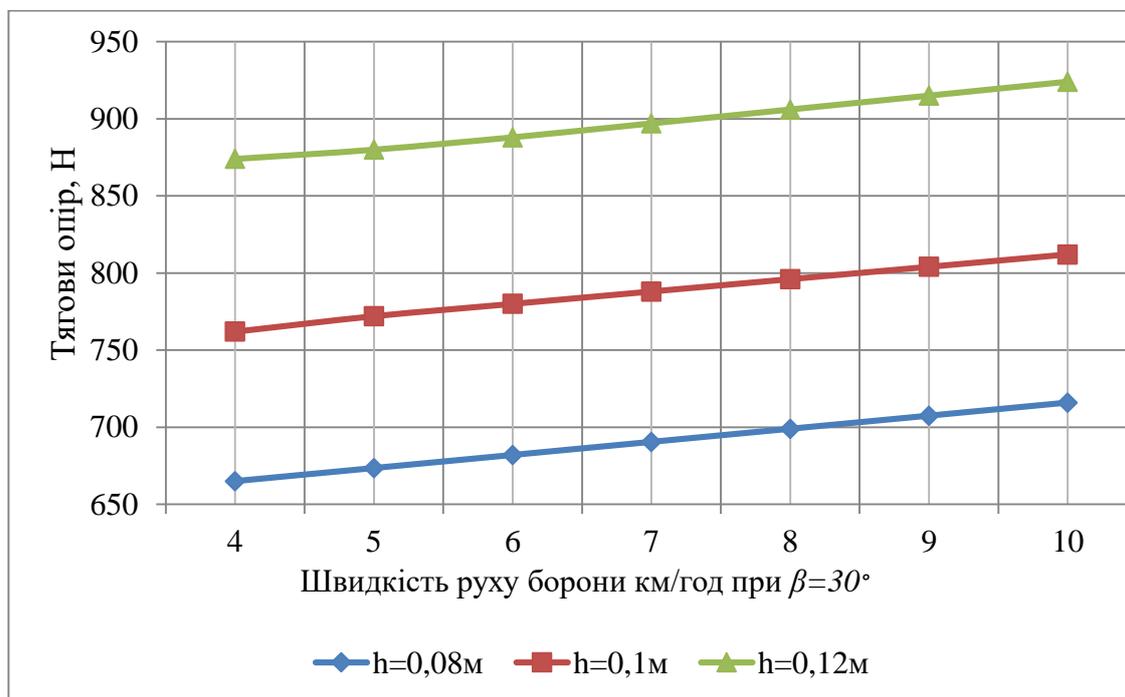


Рис. 6. Графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами з кутом атаки  $\beta=30^\circ$  від швидкості руху  $V$

На рис. 6 представлені графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами з кутом атаки

$\beta=30^\circ$  від швидкості руху  $V$  при різних глибинах обробітку ґрунту  $h=0,08 - 0,12$  м.

За результатами аналізу залежностей (рис. 6) встановлено, що тяговий опір  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами при глибинах обробітку від  $h=0,08$  м до максимальної  $h=0,12$  м при встановленому куті атаки  $\beta=30^\circ$  зростає лінійно з  $665$  Н до  $716$  Н при  $h=0,08$  м, з  $762$  Н до  $812$  Н при  $h=0,1$  м; та з  $874$  Н до  $924$  Н при глибині обробітку  $h=0,12$  м.

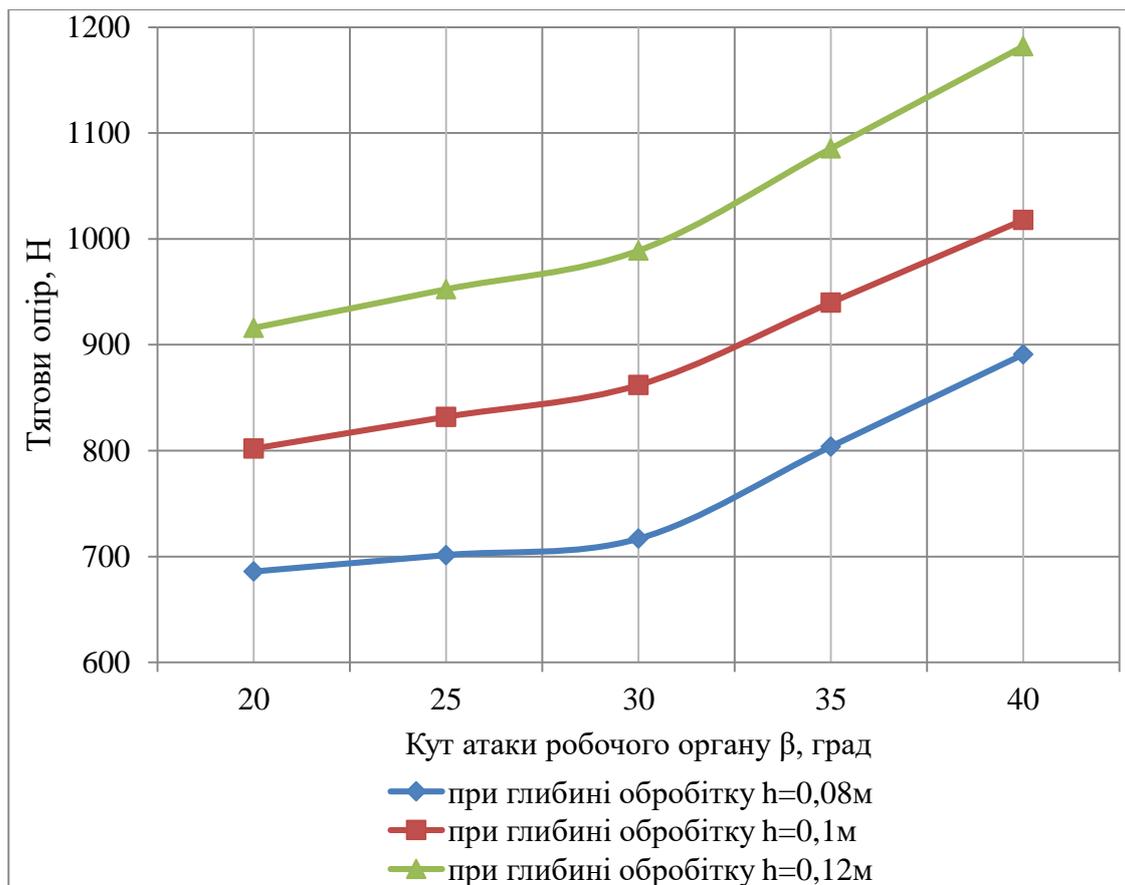


Рис. 7. Графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами для швидкості руху  $V=8$  км/год від кута атаки  $\beta$ ;

Аналіз графічних залежностей показує, що при збільшенні швидкості переміщення борони з гвинтовими робочими органами  $V$  від 4 до 10 км/год, тяговий опір  $P_x$  зростає, причому для глибини обробітку ґрунту  $h=0,08$  м,  $P_x$  зростає на 7,1 %, для  $h=0,1$  м - на 6,2 % і для глибини обробітку ґрунту  $h=0,12$  м,  $P_x$  зростає на 5,4 %. Також можна відзначити, що збільшення глибини обробітку з  $h=0,08$  м до  $h=0,12$  м при швидкості руху борони  $V=4$  км/год призводить до збільшення тягового опору на 22,5 %, а при  $V=10$  км/год тяговий опір збільшується на 23,9%.

На рис. 7 представлені графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами для швидкості руху  $V = 8$  км/год від кута атаки  $\beta$ , при різних глибинах обробітку ґрунту  $h = 0,08 - 0,12$  м.

Аналіз графічних залежностей (рис. 7) свідчить, що для пропонованої борони з гвинтовими робочими органами при швидкості руху  $V = 8$  км/год для глибин обробітку  $h = 0,08$  м,  $h = 0,1$  м та  $h = 0,12$  м тяговий опір в межах кута атаки  $\beta = 20^\circ \dots 30^\circ$  зростає повільно, а при подальшому збільшенні кута атаки  $\beta$ , тяговий опір зростає інтенсивніше і при  $\beta = 40^\circ$  досягає значень  $P_x = 891$  Н за номінальної глибини обробітку  $h = 0,08$  м,  $P_x = 1018$  Н за глибини обробітку  $h = 0,1$  м та  $P_x = 1182$  Н за максимальної глибини обробітку  $h = 0,12$  м. Повільна зміна тягового опору в межах  $\beta = 20^\circ \dots 30^\circ$  відбувається тому, що за рахунок геометричних особливостей робочої поверхні робочого органу зростання площі контакту поверхні гвинтової спіралі з ґрунтом.

Також можна відзначити, що збільшення глибини обробітку з  $h = 0,08$  м до  $h = 0,12$  м, при куті атаки гвинтових робочих органів  $\beta = 20^\circ$ , призводить до збільшення тягового опору на 25,1 %, при  $\beta = 30^\circ$  тяговий опір збільшується на 27,5 %, а при  $\beta = 40^\circ$  тяговий опір збільшується на 24,6 %.

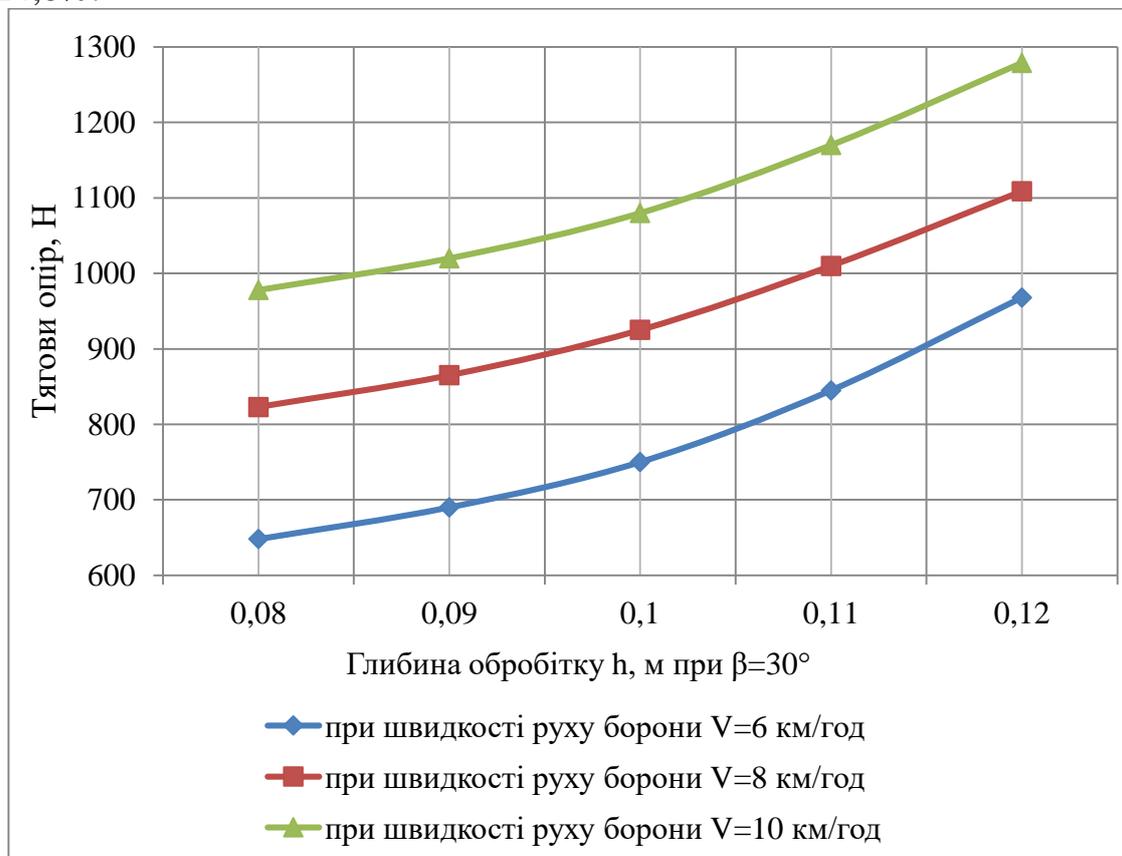


Рис. 8. Графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами з кутом атаки  $\beta = 30^\circ$  від глибини обробітку  $h$ ;



На рис. 8 представлені графічні залежності тягового опору  $P_x$  пропонованої борони з гвинтовими робочими органами з кутом атаки  $\beta=30^\circ$  від глибини обробітку ґрунту  $h$  при різних швидкостях руху борони  $V=6-10$  км/год.

За результатами аналізу залежностей (рис. 8) встановлено, що тяговий опір  $P_x$ , пропонованої борони з гвинтовими робочими органами при швидкостях переміщення борони від  $V=6$  км/год до максимальної  $V=10$  км/год, при встановленому куті атаки робочих органів  $\beta=30^\circ$  зростає криволінійно з  $648H$  до  $968H$  при  $V=6$  км/год, з  $823H$  до  $1109H$  при  $V=8$  км/год; та з  $978H$  до  $1279H$  при швидкості переміщення борони  $V=10$  км/год.

За результатами аналізу залежностей (рис. 8) встановлено, що тяговий опір  $P_x$ , пропонованої борони з гвинтовими робочими органами при швидкостях переміщення борони від  $V=6$  км/год до максимальної  $V=10$  км/год, при встановленому куті атаки робочих органів  $\beta=30^\circ$  зростає криволінійно з  $648H$  до  $968H$  при  $V=6$  км/год, з  $823H$  до  $1109H$  при  $V=8$  км/год; та з  $978H$  до  $1279H$  при швидкості переміщення борони  $V=10$  км/год.

Аналіз графічних залежностей показує, що при збільшенні глибини обробітку ґрунту  $h$  від  $0,08$  м до  $0,12$  м тяговий опір  $P_x$  зростає, причому для швидкості руху борони  $V=6$  км/год  $P_x$  зростає на  $16,3\%$ , для  $V=8$  км/год на  $12,5\%$  і для швидкості руху борони  $V=10$  км/год  $P_x$  зростає на  $14,4\%$ .

За результатами аналізу графічних залежностей (рис. 6 – 8) очевидно, що динаміка зміни тягового опору, в залежності від зміни кута атаки, глибини обробітку та швидкості руху борони відповідає результатам аналітичних досліджень [15]. Згідно даних рекомендацій для двохслідних польових борін залежно від властивостей ґрунту, глибини обробітку і кута атаки, питомий тяговий опір становить  $k = 1500...3000$  Н/м. Отже, для стандартної дискової борони шириною обробітку  $B = 1.3$  м значення тягового опору при найбільш сприятливих параметрах становить приблизно  $2000$  Н. Це значення тягового опору є значно більшим (приблизно в  $1,3$  рази) за значення тягового опору, які були одержані при експериментальних дослідженнях, пропонованої борони з гвинтовими робочими органами. Таке зниження тягового опору можна пояснити відсутністю тильного кута робочої поверхні у вигляді розгортного гелікоїда, при оптимальних значеннях кута атаки  $\beta=20^\circ - 40^\circ$  та номінальній глибині обробітку  $h=0,12$  м.

**Висновки.** На основі проведених досліджень встановлено, що збільшення глибини обробітку з  $h=0,08$  м до  $h=0,12$  м, призводить до збільшення тягового опору на  $22,5 - 23,9\%$ , збільшення швидкості руху борони з  $V=6$  км/год до  $V=10$  км/год, призводить до збільшення



тягового опору в середньому на 14,5% і збільшення кута атаки гвинтових робочих органів до  $\beta=20^\circ$ , призводить до збільшення тягового опору на 25,1 %, при  $\beta=30^\circ$  тяговий опір збільшується на 27,5%, а при  $\beta=40^\circ$  тяговий опір збільшується на 24,6%.

#### Список використаних джерел

1. Стрельбицкий В. Ф. Дисковые почвообрабатывающие машины. Москва: Машиностроение, 1978. 218 с.
2. Циммерман М. З. Рабочие органы почвообрабатывающих машин. Москва: Машиностроение, 1978. 162 с.
3. Нартов П. С. Дисковые почвообрабатывающие орудия. Воронеж: Издательство ВГУ, 1972. 158 с.
4. Заїка П. М. Теорія сільськогосподарських машин. Т. I (ч.1). Машини та знаряддя для обробітку ґрунту. Харків: Око, 2001. 444 с.
5. Клендїй М. Б., Пилипака С. Ф. Аналітична модель установки ґрунтообробних сферичних дисків для визначення геометричних та технологічних характеристик. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Київ, 2016. Вип. 241. С. 140–150.
6. Гриненко О., Лебедев С. Дослідження коливань дискових ґрунтообробних знарядь. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. Київ, 2011. Вип. 15 (29). С. 50–53.
7. Кириченко А. К. Оценка качества обработки почвы сферическими дисками с индивидуальной подвеской. *Механизация работ в производстве зерна и селекционном процессе*. Краснодар, 1985. С. 18.
8. Гапоненко О. І. Програмування рівномірності обробітку дисковими робочими органами на пружних стійках. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер. Технічні науки*. Вінниця, 2012. Вип. 11. С. 135–141.
9. Клендїй М. Б., Пилипака С. Ф. Рух частинки по поверхні сферичного ґрунтообробного диска. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. Київ, 2017. Вип. 258. С. 283–296.
10. Кравчук В. І., Грицишин М. І., Коваль С. М. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / за ред. В. І. Кравчука. Київ: Аграрна наука, 2004. 396 с.
11. Пилипака С. Ф., Клендїй М. Б. Робочий орган із відсіку розгорнутої гвинтової поверхні як альтернатива ґрунтообробним дискам. *Сучасні проблеми землеробської механіки: збірник наукових праць XVIII Міжнародної наукової конференції (16-18 жовтня 2017 р., м. Кам'янець-Подільський)*. Кам'янець-Подільський, 2017. С. 170-174.



12. Борона з гвинтовими робочими органами: пат. № 133362 Україна: МПК (2019.01) A01B 25/00. № а 201702099. Заявл. 6.03.2017 Опубл. 10.03.2019. Бюл. № 7.
13. Pylypaka S., Klendii M., Klendii O. Particle motion on the surface of a concave soil-tilling disk. *ACTA POLYTECHNICA*. 2018. Vol. 28, № 3. P. 63-73. DOI: 10.14311/AP.2018.58.0201.
14. Гевко І. Б. Науково-прикладні основи створення гвинтових транспортно-технологічних механізмів: дис. ... докт. техн. наук: 05.02.02. Львів. 2013. 464 с.
15. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку: підручник / Д. Г. Войтюк та ін. Київ: Вища освіта. 2005. 464 с.
16. Conveyance of a particle by a vertical screw, which is limited by a coaxial fixed cylinder / S. F. Pylypaka et al. *Bulletin of the Karaganda University. «Mathematics» series*. 2019. № 3 (95). P. 129-140.
17. 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.
18. Loveikin V. S., Romesevych Yu. O. Dynamic optimization of a mine winder acceleration mode. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2017. № 4. С. 55-61
19. 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.
20. Pilipaka S. F., Babka V. N., Zaharova T. N. Forma osi gibkoy neshhimaemoy polosi pri ee tolkanii po naklonnoy sherohovatoy ploskosti s postoyannoy skorostyu. *Motrol*. 2013. Vol. 15, № 4. P. 198-205.
21. Nevko R. B., Dzyura V. O., Romanovsky R. M. Mathematical model of the pneumatic-screw conveyor screw mechanism operation. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2014. Vol. 44, № 3. P. 103-110.
22. Nevko R. B., Zalutskyi S. Z., Tkachenko I. G. Development and investigation of reciprocating screw with flexible helical surface. *INMATEH: Agricultural engineering*. 2015. Vol. 46, № 2, P. 133-138.

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВАРІАНТУ БОРОНИ З ГВИНТОВИМИ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ**

**Пастушенко С.І., Клендій М.Б., Клендій М.І.**

### **Анотація**

У статті наведені результати експериментальних досліджень визначення тягового опору експериментального варіанту борони з гвинтовими робочими органами. Аналіз, отриманих за результатами дослідження, значень показує, що динаміка зміни тягового опору, в залежності від зміни кута атаки, глибини обробітку та швидкості руху борони відповідає результатам аналітичних досліджень. Встановлено, що значення тягового опору, які були одержані при





експериментальних дослідженнях, запропонованої борони з гвинтовими робочими органами менші приблизно в 1,3 рази від величини тягового опору стандартної дискової борони. Таке зниження тягового опору можна пояснити відсутністю тильного кута робочої поверхні у вигляді розгортного гелікоїда, при оптимальних значеннях кута атаки  $\beta$  та номінальній глибині обробітку  $h$ .

**Ключові слова:** борона з гвинтовими робочими органами, гелікоїд, кут атаки, швидкість руху борони, глибина обробітку, тяговий опір.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЯГОВОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ВАРИАНТА БOROНЫ С ВИНТОВЫМИ РАБОЧИМИ ОРГАНАМИ

Пастушенко С.И., Клендий М.Б., Клендий М.И.

### Аннотация

В статье приведены результаты экспериментальных исследований для определения тягового сопротивления экспериментального варианта бороны с винтовыми рабочими органами. Анализ значений, полученных по результатам исследования, показывает, что динамика изменения тягового сопротивления, в зависимости от изменения угла атаки, глубины обработки и скорости движения бороны соответствует результатам аналитических исследований.

Также можно отметить, что

- увеличение глубины обработки почвы с  $h = 0,08\text{м}$  до  $h = 0,12\text{м}$  при скорости движения бороны  $V = 4\text{км/ч}$  приводит к увеличению тягового сопротивления на 22,5%, а при  $V = 10\text{ км/ч}$  тяговое сопротивление увеличивается на 23 9%;

- увеличение глубины обработки почвы с  $h = 0,08\text{м}$  до  $h = 0,12\text{м}$ , при угле атаки винтовых рабочих органов  $\beta = 20^\circ$ , приводит к увеличению тягового сопротивления на 25,1%, при  $\beta = 30^\circ$  тяговое сопротивление увеличивается на 27,5%, а при  $\beta = 40^\circ$  тяговое сопротивление увеличивается на 24,6%.

Установлено, что значение тягового сопротивления, которые были получены при экспериментальных исследованиях, предлагаемой бороны с винтовыми рабочими органами меньше примерно в 1,3 раза от величины тягового сопротивления стандартной дисковой бороны. Такое снижение тягового сопротивления можно объяснить отсутствием тильного угла рабочей поверхности в виде развернутого геликоида, при оптимальных значениях угла атаки  $\beta$  и номинальной глубине обработки  $h$ .

**Ключевые слова:** борона с винтовыми рабочими органами, геликоид, угол атаки, скорость движения бороны, глубина обработки, тяговое сопротивление.

## EXPERIMENTAL HARROW WITH SCREW WORKING BODIES TRACTION RESISTANCE RESEARCH

Pastushenko S.I., Klendiy M.B., Klendiy M.I.

### Abstract

The soil-cultivating working bodies of agricultural machines create the necessary conditions for the intensive growth and development of the plant: due to soil cultivation, the access of oxygen and moisture to the soil is facilitated, the root system develops faster and thus the plant intensively assimilates macro- and microelements from the soil, which leads to rapid development plants and, as a result, the potential for biological harvest is growing..On the basis of the theoretically obtained design parameters of the helicoid turns, the design was developed and the screw working bodies of the harrow, as well as



an experimental version of the harrow with screw working bodies were manufactured. The article presents the experimental studies results of the experimental harrow with screw working bodies traction resistance. The research values analysis showed that the changes in the traction resistance dynamics, depending on the attack angle changes, the processing depth and the harrow speed, corresponded to the results of analytical studies.

Also noted:

- an increase in the tillage depth from  $h = 0,08$  m to  $h = 0,12$  m at a harrow speed of  $V = 4$  km/h leads to an increase in traction resistance by 22,5%, and at  $V = 10$  km/h traction resistance increases by 23 nine %;

- an increase in the depth of tillage from  $h = 0,08$  m to  $h = 0,12$  m, at an angle of attack of the screw working bodies  $\beta = 20^\circ$ , increased traction resistance by 25,1%, at  $\beta = 30^\circ$ , traction resistance increases by 27,5%, and at  $\beta = 40^\circ$  the traction resistance increases by 24,6%.

It was found that the values of proposed harrow with screw working bodies traction resistance, are approximately 1,3 times less than the value of the traction resistance of a standard disc harrow. Such a decrease in traction resistance can be explained by the absence of the rear angle of the working surface in the form of a deployed helicoid, at the optimal values of the angle of attack  $\beta$  and the nominal working depth  $h$ .

**Key words:** harrow with screw working bodies, helicoid, angle of attack, speed of the harrow, working depth, traction resistanc



УДК. 631.3.004:621.892

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-3

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ РІДИН

Журавель Д. П., д. т. н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного*e-mail: [dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua](mailto:dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* Гідравлічна олива виконує одну із основних функцій передачі механічної енергії та змащувального середовища. Своєчасна заміна робочої рідини забезпечить нормальну роботу гідросистеми і дасть змогу продовжити термін служби її компонентів. Необхідність в заміні нової оливи, або очищеної обумовлена потраплянням вологи, окалин, металевих часток (результат зносу деталей), кремнієвий пісок, гума, пластик, фарба.

Забруднення оливи може призвести до: зносу гідравлічного обладнання і зниження ефективності його роботи; прискоренню процесу окислення оливи; до розкладання оливи, емульгування, утворення іржі і корозії; деформації насоса і штока гідроциліндра; виходу з ладу клапанів; вироблення, зносу посадочних місць золотників, їх заклинювання; виходу з ладу гидромоторів і гідронасосів; зносу, заклинювання плунжерних пар, качаючих вузлів; виходу з ладу гідравлічного розподільника; підвищеного зносу ущільнень гідроциліндрів, гидромоторів, гідронасосів і т.д; перегрів гідравлічної системи. Тому для продовження терміну служби оливи і механізмів устаткування необхідно проводити їх планову заміну або очищення за допомогою спеціального фільтруючого обладнання [1-4].

*Аналіз останніх досліджень.* Більше 80% відмов гідравлічного обладнання відбувається через забруднення оливи дрібно- і крупнодисперсними забруднювачами (тверді частинки, вода, повітря і т.д). Очищення гідравлічної оливи - одна з основних заходів по запобіганню внутрішніх частин від корозії і механічного зносу, яке включає промивку та очищення системи трубопроводів з метою видалення з них сторонніх речовин і осадів. При цьому проводиться часткове або повне розбирання трубопроводу [2-4]. Періодичність заміни, очищення гідравлічної оливи повинна здійснюватися кожні 8-9 місяців (2000 мото-год) щоденної експлуатації обладнання, але не рідше одного разу на рік.



Продовження строку служби олив дозволяє заощадити кошти на простій техніки, технічне обслуговування і ремонт обладнання [5-8]. Нині існує багато методів видалення частинок твердої дисперсної фази (ТДФ) із робочих рідин. Усі їх умовно можна розділити на три види: фільтрація – метод очищення рідин від твердих, а в ряді випадків і від рідких забруднень при пропусканні її через пористі перегородки; використання силових полів – метод заснований на ефекті взаємодії частинок ТДФ із силовими полями. Використовують поля різної природи: гравітаційні, магнітні, відцентрові, електростатичні, поля, які генеруються ультразвуковими коливаннями; фізико-хімічне очищення – метод заснований на відмінностях дисперсного середовища і дисперсійної фази [2,9-15]. До такого методу відноситься очищення і зневоднення робочих рідин силікагелями або цеолітами, масообмінна сушка, виморожування вільної і емульсійної води та ін. Сучасні засоби очищення робочих рідин повинні відповідати наступним вимогам: забезпечувати високу точність очищення незалежно від природи, концентрації і розмірів частинок ТДФ; мати постійну пропускну здатність і забезпечувати ефективність роботи незалежно від часу наробітку і об'єму рідини, яка очищається; володіти значною брудоемністю з метою збільшення міжпромивочного ресурсу і повного ресурсу установки та ін. [16-21].

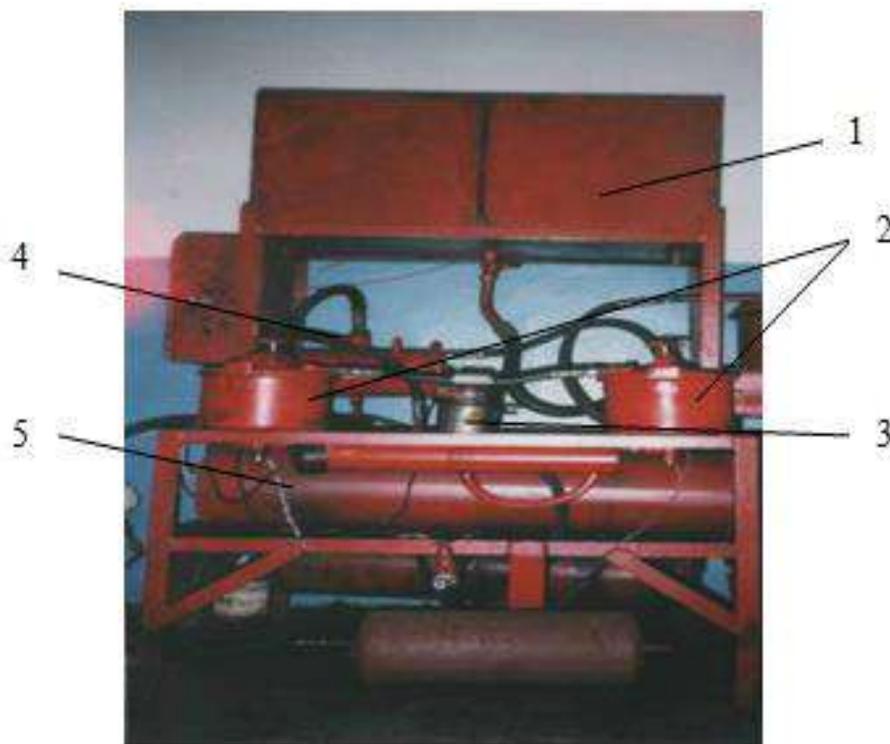
*Формулювання мети статті.* Обґрунтування методики та устаткування для очищення робочих рідин з метою продовження строку їх служби і подальшого забезпеченням експлуатаційної надійності гідравлічних систем сільськогосподарської техніки.

*Основна частина.* Результати проведених досліджень, показали, що найбільш доцільніше використовувати комбіновані методи очищення відпрацьованих гідравлічних олив за допомогою різного роду фільтрів. Нами була розроблена установка для очищення відпрацьованих гідравлічних олив, використовуючи саме комбіновані методи. Технічна характеристика установки наведено в таблиці 1, а загальний вигляд показано на рис.1.

Таблиця 1

Технічна характеристики установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив

№ п/п	Показники	Значення
1	Пропускна здатність, л/хв	0,3
2	Ступінь очищення, %, не менше	85
3	Гідравлічний опір, Па	$180 \times 10^3$
4	Споживана потужність, кВт, не більше	1,5
5	Напруга живлення, В	220
6	Рід току	перемінний
7	Швидкість на входному патрубку, м/с	0,1



1-бак для відпрацьованої оливи; 2-перколяційний фільтр адсорбер; 3-електромагнітний фільтр; 4 - випарник легко киплячих фракцій; 5- бак для очищеної оливи.

Рис. 1. Загальний вигляд установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив

Принцип роботи установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив полягає в послідовному проходженні підігрітої відпрацьованої гідравлічної оливи через перколяційний фільтр-адсорбер (2), де відбувається її очищення від продуктів зносу і окислення, електромагнітний фільтр (3), де відбувається її очищення від феромагнітних домішок, випарник легко киплячих фракцій (4), де відбувається її очищення від води і палив.

Перколяційний фільтр-адсорбер складається із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки і фільтруючого пакету. В якості адсорбенту використовувався модифікований кремнезем, який є широко розповсюдженим природним матеріалом. Процес очищення полягає в проходженні забрудненої оливи через шар адсорбенту. При цьому відбувається відділення частинок твердо дисперсної фази, води та органічних з'єднань золистого характеру.

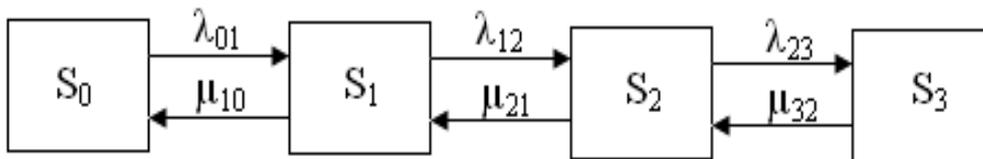
Фільтр електромагнітний (ФЕМ) складається із корпусу, вхідного і вихідного патрубків, кришки, стакана і феромагнітної засипки – сталевого дробу. В процесі проходження оливи через ФЕМ відбувається очищення її від феромагнітних частинок. В електромагнітній системі «котушка – дріб - корпус» створюється

електромагнітне поле, при цьому феромагнітні частинки утримуються в місцях контакту сталевих дробинок.

Випарник легко киплячих фракцій складається із корпусу, в який вставлений циліндр з нагрівальним елементом, вхідного і вихідного патрубків, датчика температури, кришки. При досяганні температури зовнішньої поверхні циліндра, яка відповідає виділенню легко киплячих фракцій, спрацьовує датчик температури, відкривається вентиль і подається олива. В процесі цього із оливи виділяються домішки палива і води. Після чого олива поступає в бак очищеної оливи.

В результаті очищення відпрацьованої гідравлічної оливи установкою, забрудненість зменшилась з 0,91% мас до 0,06% мас, що відповідає 17-му класу чистоти, згідно ГОСТ 17216.

Виконаємо теоретичну оцінку надійності системи очищення відпрацьованих гідравлічних оливи. Систему очищення представимо у вигляді графа станів, який наведено на рис. 2.



$S_0$  - справний стан системи очищення;

$S_1$  - вихід з ладу перколяційних фільтрів-адсорберів;

$S_2$  - вихід з ладу електромагнітного фільтра;

$S_3$  - вихід з ладу випарника легко киплячих фракцій.

Рис. 2. Граф станів системи очищення відпрацьованої гідравлічної оливи

Вже згадана система має 4 стани, які описані вище. Всі переходи системи зі стану  $S_a$  в  $S_b$  відбуваються під впливом найпростіших потоків подій з інтенсивностями  $\lambda$  (a, b).

Так, перехід системи зі стану  $S_0$  в  $S_1$  буде відбуватися під впливом потоку відмов першого вузла, а зворотній перехід зі стану  $S_1$  в  $S_0$  - під впливом потоку "закінчень ремонтів" першого вузла і т.п.

Потік відмов фільтрів приймаємо як найпростіший, і час між відмовами в цьому потоці розподіляється по показовому закону і визначається параметрами інтенсивності відмов:

$$\lambda = \frac{1}{t_6}, \quad (1)$$



де  $t_6$  – середній час безвідмовної роботи фільтра.

Час між відновленнями також розподіляється по показовому закону і також визначається параметрами інтенсивності відновлення:

$$\mu = \frac{1}{t_p}, \tag{2}$$

де  $t_p$  - середній час відновлення справного стану заміною фільтра.

Використовуючи правило Колмогорова (рівняння граничних ймовірностей), запишемо систему диференціальних рівнянь ймовірностей станів для рис.1.

$$\left. \begin{aligned} \frac{dp_0}{dt} &= -\lambda_{01}p_0 + \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_1}{dt} &= \lambda_{01}p_0 - \lambda_{12}p_1 + \mu_{12}p_2 - \mu_{10}p_1 \\ \frac{dp_2}{dt} &= \lambda_{12}p_1 - \mu_{21}p_2 - \lambda_{23}p_2 + \mu_{32}p_3 \\ \frac{dp_3}{dt} &= \lambda_{23}p_2 - \mu_{32}p_3 \end{aligned} \right\} \tag{3}$$

Якщо ліві частини рівнянь прирівняти до нуля, то отримаємо систему алгебраїчних рівнянь граничних станів. Використовуючи нормувальну умову:

$$p_0 + p_1 + p_2 + p_3 = 1, \tag{4}$$

а також умову, що при  $t = 0$ ,  $p_0 = 1$ , отримаємо вирази для визначення ймовірності знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} + \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} + \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}}}. \tag{5}$$

Ймовірність відмови перколяційних фільтрів-адсорберів визначається за формулою:



$$P_{1П} = \frac{\lambda_{01}}{\mu_{10}} P_{0П} \quad (6)$$

Імовірність відмови електромагнітного фільтра визначається за формулою:

$$P_{2П} = \frac{\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (7)$$

Імовірність відмови випарника легко киплячих фракцій визначається за формулою:

$$P_{3П} = \frac{\lambda_{23}\lambda_{12}\lambda_{01}}{\mu_{32}\mu_{21}\mu_{10}} P_{0П} \quad (9)$$

Якщо взяти за пропускну здатність установки 0,3 л/хв, то інтенсивності відмов розподіляться таким чином:

$$\lambda_{01} = 1/3 = 0,333, \lambda_{12} = 1/6 = 0,167, \lambda_{23} = 1/12 = 0,083.$$

Інтенсивності відновлення розподіляться таким чином:

$$\mu_{10} = 3, \mu_{21} = 2, \mu_{31} = 1.$$

Розраховуємо ймовірність знаходження досліджуваних фільтрів в справному стані:

$$P_{0П} = \frac{1}{1 + \frac{0,333}{3} + \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} + \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1}} =$$

$$= \frac{1}{1 + 0,111 + 0,0278 + 0,00077} = 0,87827.$$

Розраховуємо ймовірність відмови фільтрів:

- перколяційних фільтрів-адсорберів:

$$P_{1П} = \frac{0,333}{3} \cdot 0,87827 = 0,09749.$$

- електромагнітного фільтра:

$$P_{2П} = \frac{0,167 \cdot 0,333}{2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,02442.$$





- випарника легко киплячих фракцій :

$$P_{3п} = \frac{0,083 \cdot 0,167 \cdot 0,333}{3 \cdot 2 \cdot 1} \cdot 0,87827 = 0,00002027.$$

*Висновок.* Таким чином, використовуючи отримані залежності можна оцінити ступінь впливу різних методів фільтрації на надійність системи очищення відпрацьованої гідравлічної оливи. В результаті очищення відпрацьованої гідравлічної оливи установкою, забрудненість зменшилась з 0,91% мас до 0,06% мас, що відповідає 17-му класу чистоти, згідно ГОСТ 17216.

#### Список використаних джерел

1. Сухарев Э. А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: учебное пособие. Ровно: НУВХП, 2006. 192 с.
2. Топілін Г. Є., Уминський С. М., Інютін С. В. Використання гідродинамічних апаратів у технологічних процесах. Одеса: ОДАУ, 2009. 183 с.
3. Надійність сільськогосподарської техніки: підручник / за ред. М. І. Черновола. 2-ге вид., переробл. і допов. Кіровоград: КОД, 2010. 168 с.
4. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві: монографія. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.
5. Журавель Д. П. Рациональне використання біологічних олив для мобільних енергетичних засобів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-9.
6. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. Київ, 2018. Вип. 282. С. 279-292.
7. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 18, т. 2. С. 105-118.
8. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних паливних. *Науковий*



вісник Таврійського державного агротехнологічного університету. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91-107.

9. Tziourtzioumis D., Demetriades L., Zogou O., Stamatelos A. M. Experimental investigation of the effect of a B70 biodiesel blend on a common-rail passenger car diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2009. Vol. 223, № 5. P. 685–701. DOI: 10.1243/09544070jauto1094.

10. Lin B.-F., Huang J.-H., Huang D.-Y. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel*. 2009. Vol. 88, № 9. P. 1779–1785. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.04.006.

11. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel / K. G. Georgogianni et al. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89, № 5. P. 503–509. DOI: 10.1016/j.fuproc.2007.10.004.

12. Comparative behavior of various nano additives in a DIESEL engine powered by novel *Garcinia gummi-gutta* biodiesel / S. Janakiraman et al. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. 118940. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118940.

13. Enzymatic production of biodiesel using lipase catalyst and testing of an unmodified compression ignition engine using its blends with diesel / J. Jayaraman et al. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 145. P. 399-407. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.061.

14. Preheating of sunflower blended biodiesel for the improvement of performance characteristics of a DI diesel engine under various loads / A. K. Mohapatra et al. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8, № 6. P. 921-926. DOI: 10.35940/ijeat.F8228.088619.

15. Thermodynamic fundamentals for fuel production management / K. Tucki et al. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. Vol. 11, № 16. 4449.

16. Numerical and comparative study of butanol and ethanol diesel blends in a turbocharged compression ignition diesel engine / S. A. Ahmed et al. *International Agricultural Engineering Journal*. 2019. Vol. 28, № 2. P. 19-32.

17. 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. Kumar et al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 9. 2019. № 2. P. 857-861.

18. Emima Y., Rajesh M., Rao K. S. Experimental investigation on performance and exhaust emission characteristics of diesel engine using



sesame blends with diesel and additive. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 2019. Vol. 8, № 1. P. 6-11.

19. 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.

20. Singh P., Goel V., Chauhan S. R. Effects of dual biofuel approach for total elimination of diesel on injection system by reciprocatory friction monitor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2018. Vol. 232, № 9. P. 1068-1076. DOI:10.1177/1350650117737874.

21. 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.

22. Peng D.-X. Room temperature tribological performance of biodiesel (soybean oil). *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016. Vol. 68, № 6. P. 617-623.

### **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ГІДРОСИСТЕМ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ ШЛЯХОМ ОЧИЩЕННЯ РОБОЧИХ РІДИН**

**Журавель Д.П.**

#### ***Анотація***

В роботі обґрунтована методика та устаткування для очищення робочих рідин з метою продовження строку їх служби і подальшого забезпечення експлуатаційної надійності гідравлічних систем сільськогосподарської техніки. Розроблено та досліджено математичні моделі надійності системи очищення відпрацьованих гідравлічних олив. Отримано ймовірності станів, які покладені в основу визначення комплексних показників надійності гідравлічної системи сільськогосподарської техніки. В цілому надійність всієї гідравлічної системи залежить від надійності всіх її елементів, а також від якісних показників робочих рідин. Приведена технічна характеристика установки для очищення відпрацьованих гідравлічних олив та її принцип дії.

**Ключові слова:** система очищення, надійність системи, відпрацьована гідравлічна олива, фільтрація, граф станів, інтенсивність і ймовірність відмови, інтенсивність відновлення, ресурс.

### **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ГИДРОСИСТЕМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПУТЕМ ОЧИСТКИ РАБОЧИХ ЖИДКОСТЕЙ**

**Журавель Д.П.**

#### ***Аннотация***

В работе обоснована методика и оборудование для очистки рабочих жидкостей с целью продления срока их службы и дальнейшего обеспечением



эксплуатационной надежности гид-равличних систем сельскохозяйственной техники. Разработаны и исследованы математические модели надежности системы очистки отработанных гидравлических масел. Получены вероятности состояний, которые положены в основу определения комплексных показателей надежности гидравлической системы сельскохозяйственной техники. В целом надежность всей гидравлической системы зависит от надежности всех ее элементов, а также от качественных показателей рабочих жидкостей. Приведена техническая характеристика установки для очистки отработанных гидравлических масел и ее принцип действия.

**Ключевые слова:** система очистки, надежность системы, отработанное гидравлическое масло, фильтрация, граф состояний, интенсивность и вероятность отказа, интенсивность восстановления, ресурс.

## HYDRAULIC SYSTEM RELIABILITY AGRICULTURAL MACHINERY BY CLEANING WORKING LIQUIDS

D. Zhuravel

### *Summary*

The work substantiates the methodology and equipment for cleaning working fluids with the aim of extending their service life and further ensuring the operational reliability of hydraulic systems of agricultural machinery. Oil contamination can lead to: deterioration of hydraulic equipment and reduced efficiency; accelerating the process of oxidation of oil; to oil decomposition, emulsification, rust and corrosion; deformation of the pump and the rod of the hydraulic cylinder; failure of valves; development, wear of seats of spools, their jamming; failure of hydraulic motors and hydraulic pumps; wear, jamming of plunger pairs, rocking nodes; failure of the hydraulic distributor; increased wear of seals of hydraulic cylinders, hydraulic motors, hydraulic pumps, etc.; hydraulic system overheating. Therefore, to extend the life of the oils and machinery mechanisms, it is necessary to carry out their planned replacement or cleaning with the help of special filtering equipment. Mathematical models of the reliability of the system for cleaning used hydraulic oils have been developed and investigated. The probabilities of the states that underlie the definition of complex indicators of the reliability of the hydraulic system of agricultural machinery are obtained. In general, the reliability of the entire hydraulic system depends on the reliability of all its elements, as well as on the quality indicators of the working fluids. The main existing methods of purification of chemical-chemical indicators of working fluids are substantiated. The technical characteristic of the installation for cleaning used hydraulic oils and its operation principle are given.

**Keywords:** cleaning system, system reliability, spent hydraulic oil, filtration, state graph, failure rate and probability, recovery rate, resource.



УДК 656.13

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-4

## ОБҐРУНТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ І РОЗТАШУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

Субочев О. І.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-6867-9991

Січко О. Є.<sup>2</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-4027-3890

Ковтун І. О.<sup>1</sup>, магістрант<sup>1</sup>Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет<sup>2</sup>Національний транспортний університет

e-mail: subochev.alex@gmail.com

*Постановка проблеми.* Технічний сервіс – галузь, яка інтенсивно розвивається. Успіхи галузі обмежені, а недоліків на сьогодні забагато. Успіхи обумовлені зусиллями працюючих, а недоліки – об'єктивними чи суб'єктивними факторами. Ці фактори відображають – як в суспільстві в цілому, так і в технічному сервісі як складовій соціально-економічної системи суспільства – реальний стан та співвідношення кожного з факторів. В цілому складається ситуація, коли сукупність факторів та стан кожного з них скоріш є обмежуваними, а не таким, що сприяють розвитку техсервісу [1-3].

Особливістю функціонування підприємств технічного сервісу (ПТС) з технічного обслуговування і ремонту автомобілів (ТО і Р) на теперішній час в Україні є наявність підприємств різного розміру та форм власності, які використовують значну номенклатуру рухомого складу (РС). Важливим питанням за цих умов є визначення оптимального способу організації сервісного виробництва у залежності від кількості одиниць рухомого складу (РС) та умов експлуатації [4-6].

Сформований на початку 90-х років стихійний ринок автомобільного транспорту з кожним роком стає все більш цивілізованим, встановилися постійні зв'язки між його учасниками. У зв'язку із зростанням купівельної спроможності населення відзначається постійне збільшення попиту на нові та вживані автомобілі, що, в свою чергу, призводить до зростання ринку послуг з обслуговування та ремонту автомобілів [7].

Близько 10% ПТС спеціалізуються на обслуговуванні автомобілів тільки іноземного виробництва, до них також відносяться офіційні дилери підприємств-виробника транспортного засобу [8].

Постійне зростання автомобільного парку зумовило збільшення виробничих потужностей, тобто привело до збільшення кількості підприємств техсервісу. Одночасно збільшуються вимоги клієнтів.



Тобто клієнти підприємств техсервісу надають перевагу тим учасникам ринку, які пропонують необхідні послуги та забезпечують високу якість їх виконання, відповідно до світових стандартів [9-11].

У зв'язку з цим спостерігаються нові тенденції в розміщенні ПТС в межах міст. Раніше ремонти вантажних автомобілів та муніципальних автобусів виконувались на власній виробничій базі, а створені сервісні підприємства розташовувалися в досить малих господарствах з одним робочим постом [8].

В даний час розширюється будівництво, використовується концентрація і спеціалізація виробництв, концентруються об'єкти промисловості, торгівлі в центральних і прилеглих до них районах міст. Таке переміщення потенційної клієнтури спричинило за собою зміну дислокації нових підприємств технічного сервісу [12].

Таким чином, ПТС розосереджуються більш рівномірно за приміською територією, максимально наближаючись до дислокаціям, використовуючи спеціалізацію і кооперацію виробництва [1, 4, 12].

*Аналіз останніх досліджень.* В опублікованій літературі питання показників ефективності підприємств техсервісу слабо висвітлені з тієї причини, що вони не є актуальними за умов розвитку ПТС як бізнесу без будь-якого аналізу його впливу на ефективність економіки чи соціального стану суспільства. В достатній мірі розроблені та висвітлені в літературі лише питання оцінки ефективності діяльності ПТС. Багато робіт присвячено конкурентоздатності бізнесу, залученню клієнтів та оцінці рівня їх задоволеності, витратам на діяльність автосервісу та забезпечення його прибутковості. Що ж стосується оцінки автосервісу як соціально-економічної системи та забезпечення його ефективності з погляду якості життя людей, то цьому питанню не приділяється належної уваги [13, 14].

У результаті є звичайно значна незбалансованість між наявним парком транспортних засобів і потребою в його сервісному обслуговуванні за регіонами. Найбільша напруженість виникає в «молодих» окраїнних районах міста, де існує значна потреба в наявності автомобільного транспорту, що зв'язує периферійні території із центром, а приріст потужностей техсервісного обслуговування традиційно відстає від цих потреб. У зв'язку із цим виникає завдання виявлення та подолання диспропорцій у розвитку міського транспортного господарства [4, 12].

Досліджуючи досвід становлення і розвитку виробничих структур автомобільного транспорту, які забезпечують відповідні види діяльності, можна дійти висновку, що поєднання останніх не є єдино прийнятним. Значна частка підприємств техсервісу вантажного автомобільного транспорту спеціалізується на одних видах діяльності, передаючи інші до виконання стороннім суб'єктам господарювання.



Разом з тим, ряд організацій поєднують ці види діяльностей в певних поєднаннях на умовах основних або допоміжних [15, 16].

*Формулювання цілей статті.* Визначити оптимальні величини рівня спеціалізації, потужності і розміщення підприємств технічного сервісу для ефективності їх функціонування. Отримати залежність рівня конкурентоздатності (ПТС) від дожини черги, очікуваних автомобілів;

*Основна частина.* Сукупність сервісних підприємств автосервісу представляє собою деяку кількість  $K$ . Якщо розрізняють всі види обслуговування за рівнем спеціалізації  $j$ , може бути отримано декілька підкорених підприємств, які є числами рівнів спеціалізації [17]. При цьому кожен:

$$A_j \in K \quad (1)$$

На практиці можливо, що окремі підприємства здійснюють роботу за двома і більш технологічними циклами. Тоді вони можуть належати одночасно двом і більше підмножинам однієї множини:

$$A_j \cap A_{j+1} = \left\{ i / i \in A_j, i \in A_{j+1} \right\} \quad (2)$$

Кількість конкурентних елементів підмножини  $A$  буде більше кількості підприємств  $A_j$  – підмножини, сумарне число елементів, що підлягають збільшенню:

$$K_i < K_{A_j} \quad (3)$$

З цього слід, що при виборі виду послуг необхідно орієнтуватися на загальне число підприємств у мережах автосервісу, а також на кількість виробництв за  $j$  спеціалізацією.

При позначенні інтенсивностей потоків заявок правомірно мати на увазі кількість заявок на виконання робіт за  $j$ -тим циклом.

Мережа сервісних підприємств складається з  $K_j$  підприємств і  $B_j$  виробництв. В підмножини  $K_{A_j}$  виступає випадковий сумарний потік заявок з інтенсивністю  $A_j$ , від  $A_{SPj}$  потенційних джерел заявок, що налічує  $A_{СП}$  автомобілів. Кожний автомобіль з імовірністю  $P_{2j}$  має дві і більше несправності. Тому сумарний потік заявок в сети дорівнює:

$$\Lambda_C = \sum_{j=1}^{K_j} \Lambda_j = \sum_{j=1}^{K_j} \lambda_j (1 + P_{2j}) \cdot A_{СП_j} \quad (4)$$

де  $\lambda_j$  – інтенсивність потоку заявок від одного автомобіля по  $j$ -му виду робіт.

Стоїть завдання попереднього вибору і обґрунтування найбільш бажаних видів спеціалізації виробництв для виробничого підприємства без урахування статистичної інформації про нові заявки за виразом (4).



Відомо також приблизний розподіл обсягів робіт з відомого стандарту, кожне з них позначимо через  $\delta_{Hi}$ . Якщо прогнозуєма частка в кожному з видів робіт буде менше нормативного значення  $\delta_{Hi}$  ( $\delta_{Pj} < \delta_{Hi}$ ), тоді вибір даної спеціалізації для нового  $i+1$  підприємства доцільний. Якщо  $\delta_{Pj} > \delta_{Hi}$ , тоді сегмент даного виду впливу перенасичений і ефективність майбутнього виробництва сумнівна.

Використовуючи статистичні дані, можна вивести сумарну потужність гіпотетичного підприємства за виконанням усіх видів робіт за виразом:

$$N_C = \sum_{i=1}^{K_i} \sum_{j=1}^{K_j} \Phi_{ij} \cdot P_{ij} \cdot n_{ij} \cdot C_{cm_{ij}} \quad (5)$$

Потенційна можливість за виконанням даного виду робіт:

$$N_{C_j} = \sum_{i=1}^{K_{ij}} \Phi_{ij} \cdot P_{ij} \cdot n_{ij} \cdot C_{cm_{ij}} \quad (6)$$

де  $K_{ij}$  – кількість СП, виконуючи  $j$ -й вид робіт;

$\Phi_{ij}$  – фонд робочого часу підприємства по  $i$ -му виду робіт, люд-год.

Доля потужностей гіпотетичного підприємства по кожному виду спеціалізованих робіт:

$$\delta_{H_j} = \frac{N_{C_j}}{N_C} \quad (7)$$

Якщо порівняння значень  $\delta_{Hi}$  і  $\delta_{Pj}$  покаже перевагу до 2–3 видів робіт, доцільно дати остаточний прогноз для певної підмножини підприємств. Для цього необхідно у вираз (5) включити дані проектування  $i + 1$  – підприємства і повторити обчислення за формулами (5–7), після чого, порівнюючи значення  $\delta_{Hi}$  і  $\delta_{Pj}$ , можна з певними похибками затверджувати вибір найбільш бажаних 2–3 видів спеціалізації для нового підприємства.

Незалежно від фактичного середнього рівня завантаження потужності підприємств мережі за всіма видами робіт, вирази (5–7) дають можливість сконцентрувати увагу на найбільш бажаних видах спеціалізованих виробництв.

Разом з тим середній рівень завантаження потужності СП мережі сервісних підприємств можна визначити виходячи з співвідношення:

$$\psi_{cp} = \frac{\Lambda_C \cdot t_{np}}{N_C} \quad (8)$$

Середнє значення трудомісткості одного автомобіле-заїзду може бути визначено виходячи з трудомісткості робіт за  $j$ -м технологічним циклом з урахуванням ймовірності (частоти)  $P_j$  його появи:





$$t_{\text{ПП}} = \sum_{j=1}^{K_j} t_{\text{ПП}_j} \cdot P_j \quad (9)$$

Викликає коливання середнього коефіцієнта завантаження за виразом (2.8), які не впливають на вибір виданих послуг за введеним вище виразом, так як до цих коливань коефіцієнтів завантаження схильні всі підприємства мережі одночасно.

При визначенні коефіцієнтів завантаження цих підприємств задається питання про виборі виду спеціалізації за наведеними в попередньому розділі виразами (4–9) шляхом введення відповідних коефіцієнтів завантаження.

Необхідно розрахувати коефіцієнт завантаження потужності  $\psi_{CP}$  майбутнього підприємства в даному мікрорайоні, для чого слід виявити кількість автомобіле-постів  $n_A$  і приблизну кількість постів майбутнього підприємства  $n_C$ :

$$\psi_P = \psi_{CP} \frac{n_A}{n_A + n_C} \quad (10)$$

Чим більше постів  $n_A$  при сформованому значенні  $\psi_{CP}$ , тим менше зміна картини конкуренції в даному районі і навпаки [18].

Алгоритм вибору дислокації та спеціалізації підприємств техсервісу в конкурентному середовищі (рис. 1) починає свою роботу (блок 1) з завдання початкових нульових значень змінному порядковому номеру підприємств. Наступний оператор (блок 3) задає координати сервісних підприємств за осями абсцис і ординат для квадратів (мікрорайонів) міста.

У блоці 4 виконується підсумовування і знаходження середнього значення коефіцієнтів завантаження потужності підприємств в даному квадраті.

Вибір поточної спеціалізації, додавання номеру до наступної і перебір всього переліку спеціалізацій сервісних підприємств, виконується в блоці 5.

Завершення пошуку підприємств за всією сіткою міста виконується в блоці 6.

Блок 7 дає значення накопичувачів кількості постів і середньої трудомісткості одного обслуговування.

На підставі отриманих результатів розраховується середнє кількість обслуговуваних автомобілів на добу (блок 8).

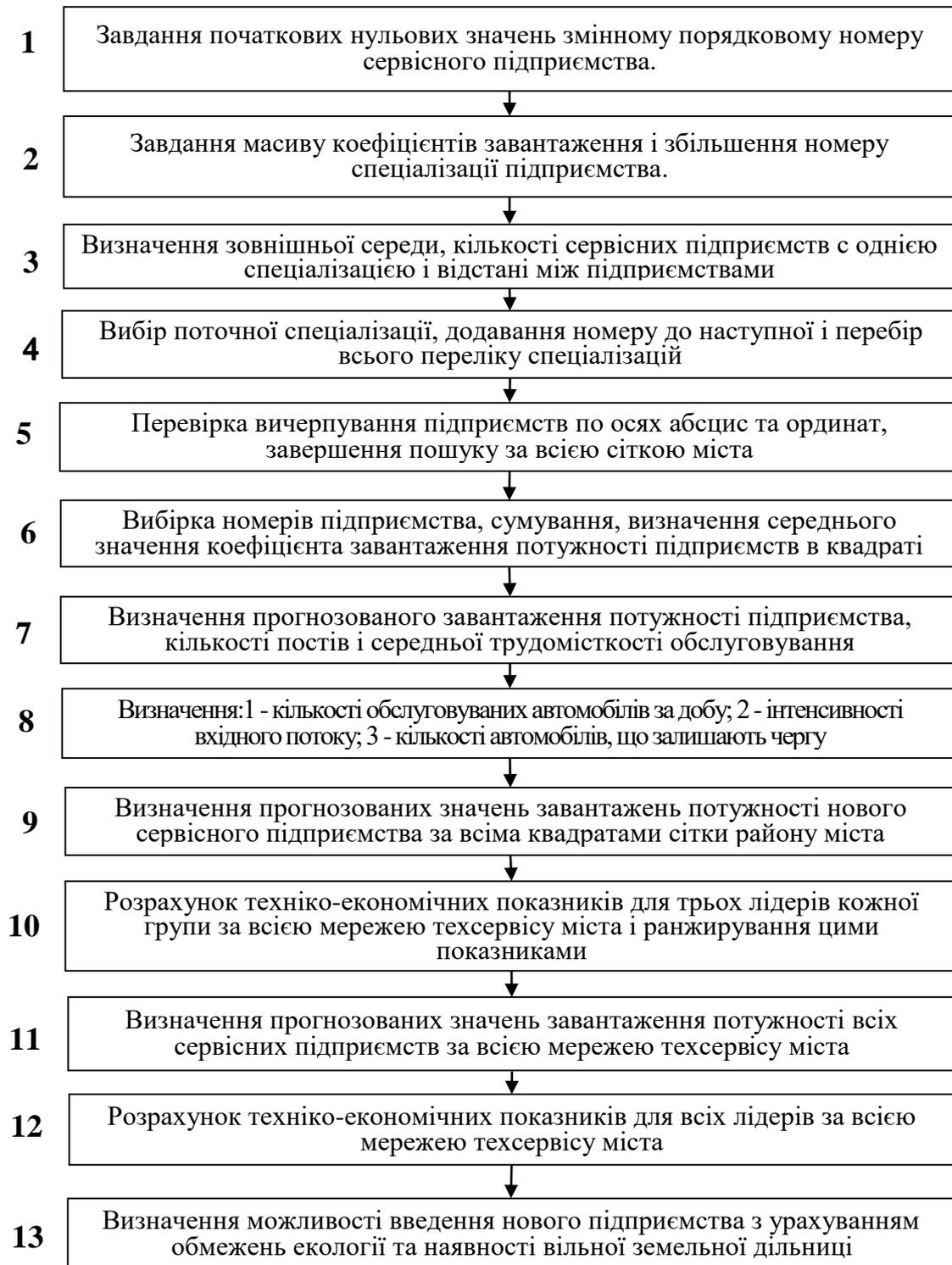


Рис. 1. Алгоритм вибору дислокації та спеціалізації підприємств техсервісу в конкурентному середовищі

Прогнозоване значення зазначеного числа автомобілів запам'ятовується у відповідному масиві (блок 9).

Після цього проводяться розрахунки техніко-економічних показників для трьох лідерів від кожної групи за всю мережею техсервісу міста (блок 10).

Розраховуються прогнозовані значення коефіцієнтів завантаження всіх підприємств мережі техсервісу (блок 11).

Визначаються техніко-економічні показники 6 підприємств-лідерів (блок 12).

Для остаточного прийняття рішення необхідно розглянути можливість будівництва одного з них з урахуванням обмежень за екологією (блок 13).

Графіки зміни кількості і частки підприємств техсервісу того чи іншого профілю за 2016–2019 роки показують (рис. 2), що період з 2016 по 2017 рік характеризувався структурною перебудовою підприємств, які на початку своєї діяльності не мали суворої спеціалізації (а відповідно і кваліфікації) і виконували роботи малого та середнього ремонту по всім вузлам і систем автомобілів.

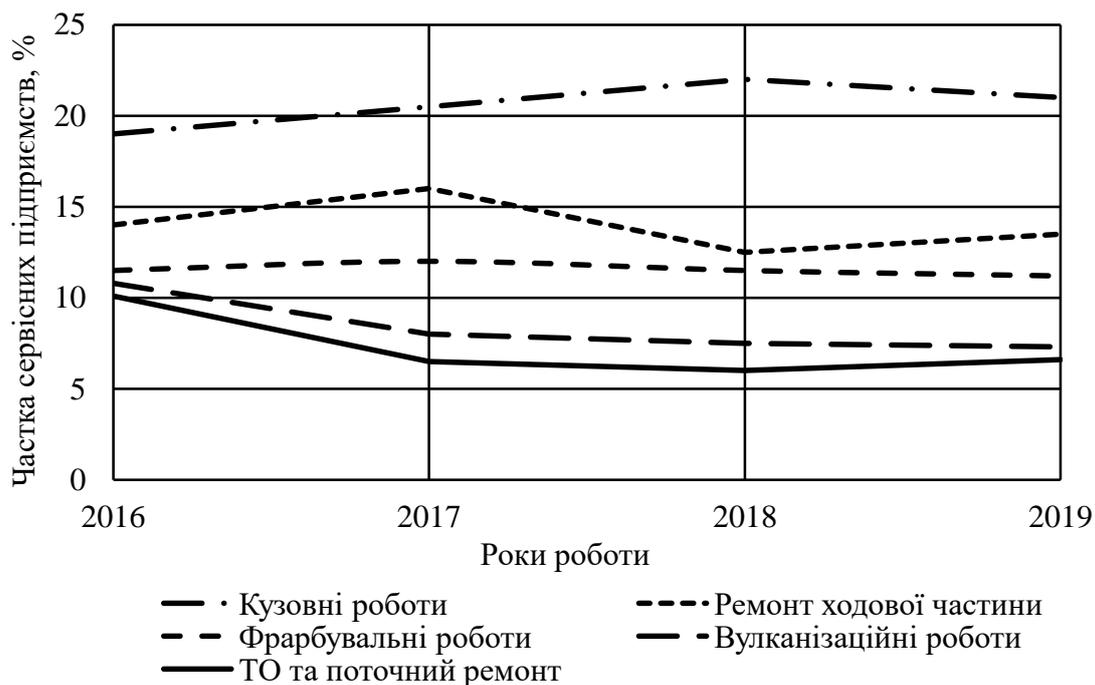


Рис. 2. Зміна структури сервісних підприємств в м. Дніпро за роками роботи

Після порівняння результатів розрахунків показників проєктованого ПТС за всіма трьома спеціалізаціями, робимо вибір найбільш оптимального варіанту (рис. 3).

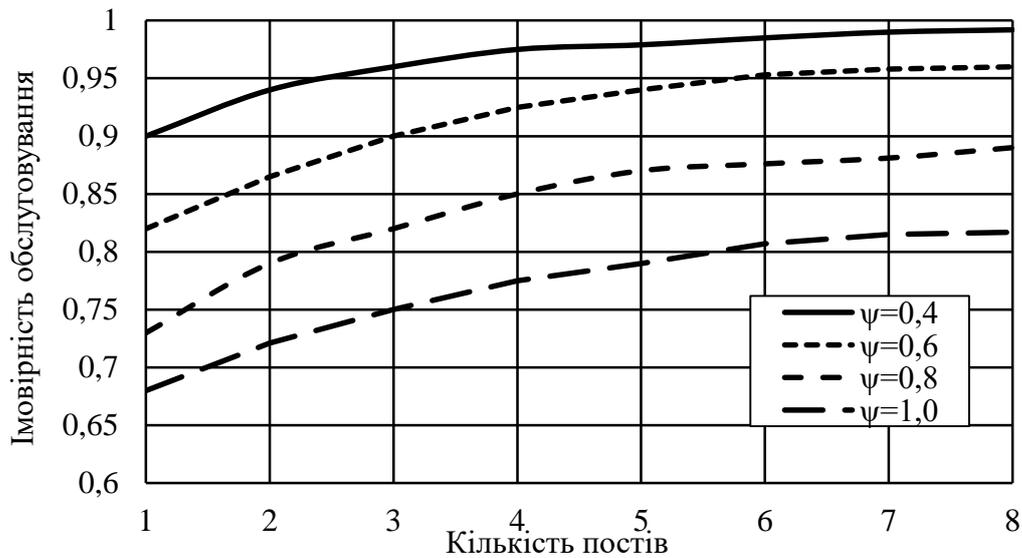


Рис. 3. Зміна імовірності обслуговування автомобілів в залежності від кількості постів  $n$  при різних коефіцієнтах завантаження СП відсутності взаємодопомоги між виконавцями

Розрахунки, проведені для різних значень параметрів максимальної черзі  $m$ , кількості постів  $n$  (рис. 4), показали, що в умовах жорсткої конкуренції відчутна зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі.



Рис. 3. Зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі

*Висновки.* Мережа підприємств техсервісу міст являє собою кілька десятків підмереж рівних кількості спеціалізацій за визначеним технологічним циклом. Розроблена методика експериментального



встановлення показників потужності сукупності діючих ПТС за коефіцієнтом завантаження та середньої довжини автомобілів, що дозволяють охопити всю мережу техсервісу. Розроблений алгоритм дозволяє за методами послідовного наближення виявляти найбільш бажані види спеціалізації, розміри та оптимальні потужності створених підприємств мережі з урахуванням можливого характеру виробничих процесів і реального рівня конкуренції.

Список використаних джерел

1. Марков О. Д. Фактори розвитку автосервісу. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2018. Вип. 1 (40). С. 203–214.

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

3. Skliar A., Demyanenko D. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations: Conference proceedings*. 2019. P. 249–258.

4. Андрусенко С. І. Бугайчук О. С. Організація технічної експлуатації автомобілів в Україні за сучасних умов. *Вісник НТУ. Сер. Технічні науки*. Київ, 2016. Вип. 1 (34). С. 12–20.

5. Subochev O., Sichko O., Volkov M. Increasing the level of providing service enterprises with spare parts and materials. *VIII international scientific congress, Agricultural Machinery*. Varna, 2020. Vol. 1/7, № 4. P. 26–30.

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

7. Efficiency of managing the production capacity of service enterprises, taking into account customer motivation / O. Subochev et al. *ICCPT 2019: Current Problems of Transport: Proceedings of the 1st International Scientific Conference, May 28-29, 2019*. Ternopil, 2019. P. 238–250.

8. Марков О. Д. Березняцький В. В. Забезпечення контролю за технічним станом автомобілів: регламенти виробника, попит споживачів, пропозиція автосервісу. *Управління проектами, системний аналіз і логістика*. 2016. Вип. 18. С. 78-85.

9. Березняцький В. В. Оптимізація часу простою автомобілів у ремонті і обслуговуванні за рахунок удосконалення оперативного планування виконання цих робіт. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2016. Вип. 1 (34). С. 56-59.



10. Тарандушка Л. А., Яновський В. В. Ранжування номенклатури послуг для автосервісних підприємств. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2018. Вип. 3 (42). С. 146–153.

11. Skliar R. 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.

12. Лудченко О. А., Лудченко Я. О., Чередник В. В. Управління якістю технічного обслуговування автомобілів: навч. посібник. Київ, 2012. 327 с.

13. Марков О. Д., Веретельникова Н. В. Обслуговування клієнтів автосервісу: навч. посібник. Київ: Каравела, 2015. 263 с.

14. Савін Ю. Х. Митко М. В. Доцільність створення виробничих підрозділів з обслуговування та ремонту автомобілів. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2016. Вип. 1 (34). С. 424–429.

15. Сахно В. П. Свостін-Косяк Д. О. Форми організації моніторингу технічного стану транспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету. Сер. Технічні науки*. Київ, 2017. Вип. 37. С. 373–380.

16. Андрусенко С. І., Бугайчук О. С. Моделювання бізнес-процесів підприємства автосервісу: монографія. Київ: Кафедра, 2014. 328 с.

17. Tsaur W.-J., Huang Y.-J. Constructing secure commercial vehicle operation systems based on XML and RFID techniques. *2008 Proceedings of the 2008 International Conference on e-Learning, e-Business, Enterprise Information Systems, and e-Government, IEEE*. 2008. P. 393–399.

18. Ďurišová M., Tokarčíková E., Malichová E., Potkanová T. Benefits of business intelligence for enterprises in the road truck transport. *2016 Transport Means – Proceedings of the International Conference*. 2016. P. 477–480.

## **ОБҐРУНТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗАЦІЇ І РОЗТАШУВАННЯ ПІДПРИЄМСТВ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ**

**Субочев О. І., Січко О. Є., Ковтун І. О.**

### *Анотація*

Визначено оптимальний спосіб організації підприємств технічного сервісу різних за розміром, формою власності та умовами експлуатації, які використовують значну номенклатуру рухомого складу. Постійне зростання автомобільного парку зумовлює збільшення виробничих потужностей, приводить до збільшення кількості підприємств технічного сервісу, які пропонують необхідні послуги та забезпечують високу якість їх виконання, відповідно до світових стандартів. Нові підприємства технічного сервісу розвиваються за рахунок



будівництва, оптимізації потужності, спеціалізації виробництв та концентрації в об'єктах промисловості, торгівлі в центральних і прилеглих до них районах міст.

Розроблено алгоритм, що дозволяє за методами послідовного наближення виявляти оптимальну спеціалізацію та розташування, створених підприємств технічного сервісу з урахуванням можливого характеру виробничих процесів і реального рівня конкуренції. Запропоновано структурну перебудову підприємств технічного сервісу, які на початку своєї діяльності не мали суворої спеціалізації і виконували роботи малого та середнього ремонту по всім вузлам і систем автомобілів. Наведено графіки, які показали, що в умовах жорсткої конкуренції відчутна зміна середньої довжини черги автомобілів в залежності від коефіцієнта завантаження потужності та кількості місць в черзі.

**Ключові слова:** підприємства технічного сервісу, спеціалізація, розташування, алгоритм, структурна перебудова, конкурентне середовище.

## ОБОСНОВАНИЕ СПЕЦИАЛИЗАЦИИ И РАЗМЕЩЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕХНИЧЕСКОГО СЕРВИСА

Субочев А. И., Сичко А. Е., Ковтун И. О.

### *Анотація*

Определен оптимальный способ организации предприятий технического сервиса разных по размеру, форме собственности и условиями эксплуатации, которые используют значительную номенклатуру подвижного состава. Постоянный рост автомобильного парка приводит к увеличению производственных мощностей, к увеличению количества предприятий технического сервиса, которые предлагают необходимые услуги и обеспечивают высокое качество их выполнения, в соответствии с мировыми стандартами. Новые предприятия технического сервиса развиваются за счет строительства, оптимизации мощности, специализации производств и концентрации в объектах промышленности, торговли в центральных и прилегающих к ним районах городов.

Разработан алгоритм, позволяющий по методам последовательного приближения выявлять оптимальную специализацию и расположения, созданных предприятий технического сервиса с учетом возможного характера производственных процессов и реального уровня конкуренции. Предложено структурную перестройку предприятий технического сервиса, которые в начале своей деятельности не имели строгой специализации и выполняли работы малого и среднего ремонта по всем узлам и системам автомобилей. Приведены графики показавших, что в условиях жесткой конкуренции ощутимое изменение средней длины очереди автомобилей в зависимости от коэффициента загрузки мощности и количества мест в очереди.

**Ключевые слова:** предприятия технического сервиса, специализация, расположение, алгоритм, структурная перестройка, конкурентная среда.

## JUSTIFICATION OF SPECIALIZATION AND LOCATION OF TECHNICAL SERVICE ENTERPRISES

A. Subochev, A. Sichko, I. Kovtun

### **Summary**

Objective and subjective factors that contribute to the development of modern technical service enterprises, which are intensively developing and are part of the socio-economic system of society, have been formed. The optimal way of organization of



technical service enterprises of different size, form of ownership and operating conditions, which use a significant range of rolling stock, is determined. The current service companies have several jobs located in fairly small farms or on small areas of existing freight and municipal transport enterprises. There is a steady increase in demand for new and used cars, which, in turn, leads to the growth and civilization of the market for car maintenance and repair services. The constant growth of the car fleet leads to an increase in production capacity, i.e. leads to an increase in the number of technical service enterprises that offer the necessary services and ensure the high quality of their performance, in accordance with international standards. New technical service enterprises are developing through construction, capacity optimization, specialization of production and concentration in industrial facilities, trade in the central and adjacent areas of cities.

An algorithm has been developed that allows the methods of sequential approximation to identify the optimal specialization and location of the created technical service enterprises, taking into account the possible nature of production processes and the real level of competition. The structural reorganization of the enterprises of technical service which at the beginning of the activity did not have strict specialization and carried out works of small and average repair on all knots and systems of cars is offered. The graphs show that in conditions of fierce competition there is a noticeable change in the average length of the queue of cars depending on the power load factor and the number of seats in the queue.

**Key words:** technical service enterprises, specialization, location, algorithm, structural adjustment, competitive environment.





УДК: 631.223.2.01

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-5

## ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНІКИ ДЛЯ МОЛОЧНОГО СКОТАРСТВА

Болтянська Н. І.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-7887-4715

Маніта І. Ю.<sup>1</sup>, ст. викл.

ORCID: 0000-0002-5359-7563

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми* Технічне переоснащення тваринництва на основі застосування високоефективних комплектів машин є одним з важливих і необхідних чинників відродження і розвитку тваринництва на майбутнє. Під впливом нової техніки відбувається вдосконалення організаційно-технологічних основ виробництва продукції (підвищується концентрація виробництва, вносяться принципово нові зміни в способи утримання і годування тварин), технології виконання процесів підготовки кормів до згодовування: подрібнення, змішування, збагачення і балансування раціонів, забезпечення місця існування тварин відповідно до їх фізіологічних потреб, що приводить до поліпшення і підвищення використання продуктивного (генетичного) потенціалу тварин, підвищуються економічні показники виробництва (продуктивність праці, знижуються витрати ресурсів на отримання продукції, обслуговування тварин, виконання процесів), поліпшується якість продукції і ціна її реалізації, скорочуються втрати і нераціональне використання сировини і матеріалів. Крім відміченого надзвичайно великий позитивний вплив техніки в сільському господарстві і в тваринництві на соціальні чинники виробництва: поліпшення умов праці працівників, підвищення рівня освіти і професійної підготовки [1-6].

Затяжна криза, що зберігається, в сільському господарстві і обумовлене їм обвальне скорочення об'ємів виробництва і поголів'я тварин, зниження рівня живлення і споживання високоякісних продуктів тваринного походження, зростання питомих витрат матеріальних, трудових і енергетичних ресурсів і низька ефективність підгалузей тваринництва пояснюється не тільки недосконалістю здійснюваної економічної політики в аграрній сфері, але і край низькою осначеністю об'єктів сучасними і високоефективними машинами, знаряддями, засобами автоматизації і контролю. В результаті відміченого зростають витрати робочого часу і кормів на



отримання продукції, ускладнюються умови для застосування ресурсозберігаючих технологій (нормування годування, якісної підготовки кормів, оптимізації параметрів мікроклімату), підвищення рівня реалізації генетичного потенціалу тварин, зниження витрат і поліпшення якості продукції [7-10].

*Аналіз останніх досліджень.* За наявних проблем розвитку тваринництва в Україні багато наукових досліджень та праць відомих науковців економістів-аграрників В.Г. Андрійчука, О.М. Бородіної, А.Д. Діброви, С.М. Кваши, П.Т. Саблука, О.М. Шпичака присвячені саме цій проблемі. Проте, враховуючи специфічність галузі та кризову ситуацію, в якій вона знаходиться на даний час, залишається актуальним додатковий аналіз стану та результативності стратегічної галузі вітчизняного АПК. У розробку методологічних і прикладних аспектів функціонування та економічної ефективності виробництва тваринництва значний внесок зробили такі дослідники, як В.І. Бойко, П.С. Березівський, В.Н. Зимовець, М.М. Ільчук, П.К. Канінський, О.А. Козак, М.П. Коржинський, М.Й. Малік, В.Я. Месель-Веселяк, М.В. Місюк, Т.Л. Мостенська, П.Т. Саблук, О.М. Шпичак та інші вчені. Слід вказати на високий рівень наукових розробок щодо теорії та практики ведення цієї галузі. [11-16]. Аналіз результатів наукових досліджень і публікацій підтверджує доцільність продовження вивчення проблеми розвитку технологій і технічних засобів на фермах ВРХ.

*Формулювання цілей статті.* Дослідити сучасний стан техніко-технологічного забезпечення тваринницької галузі в Україні і визначити тенденції розвитку технологій і технічних засобів на фермах великої рогатої худоби.

*Основна частина.* Одним із шляхів підвищення ефективності виробництва продукції тваринництва є поліпшення виробничих показників: збільшення продуктивності, зниження витрат ресурсів та праці, збільшення продуктивності тварин та ін. Тому основна увага розробники раніше приділяли вдосконаленню конструкції окремих технічних засобів з метою підвищення їх функціональних і техніко-технологічних можливостей. Однак в силу великого обсягу інформації, що надходить в процесі роботи на фермі, працівник не в змозі вчасно сприйняти, правильно оцінити і своєчасно відреагувати на зміну значень показників роботи обладнання, що надходять. Внаслідок цього виникають відхилення від оптимальних параметрів і режимів функціонування всіх систем на фермі. В результаті відбувається збільшення витрат ресурсів на виробництво продукції, зниження продуктивності праці та продуктивності тварин, погіршення стану здоров'я і скорочення їх продуктивного життя [17-20].

Тому, в даний час, для підвищення ефективності управління виробництвом активно розробляються системні рішення, які

дозволяють створити надійні комунікаційні зв'язки між усіма елементами ферми і забезпечити їх злагоджену і ефективну роботу.

Удосконалюються способи, технічні засоби і програмні продукти для збору, обробки та аналізу необхідних для управління технологічними операціями, процесами і виробництвом в цілому даних, а також їх автоматизованого і стандартизованого прийому і передачі. Сучасні засоби комунікації забезпечують надходження цих даних в розпорядження користувача незалежно від часу і місця (рис. 1).



Рис. 1. Функції сучасних засобів комунікації

Оптимізація загального процесу виробництва на молочно-товарних фермах сьогодні є як ніколи важливим процесом. Тому компанія «GEA Farm Technologies розробила нове програмне забезпечення GEA DairyPro – View (рис. 2).



Рис. 1. Елементи рекомендованих технологій утримання та обслуговування корів



Вона дозволяє візуально відобразити всі зони підприємства і робочі процеси, що відбуваються в них: у корівнику, перехідних галереях і прогонах, в доїльно-молочному блоці. Така унікальна можливість огляду, засновується на даних, що отримуються в режимі реального часу, дозволяє приймати більш точні та ефективні рішення, а також краще здійснювати управління групами в стаді.

Годівля тварин здійснюється за індивідуально-груповим (з використанням автоматичних кормових станцій і роздавачів-змішувачів) або груповим принципом (з використанням кормоприготувальних пунктів з мобільними роздавачами або роздавачів-змішувачів).

Доїння – за індивідуальним принципом проводиться на установках типу «Тандем», «Карусель», доїльних роботів. Доїння за індивідуально-груповим принципом проводиться на установках типу «Ялинка» і «Паралель».

Видалення гною – мобільним агрегатом зі змінною шириною захвату або скреперними установками з програмним керуванням, з вивантаженням гною шнековими транспортерами (типу ТШГ-250, КШН-300), а також скреперними установками з вивантаженням «флеш-системою» або «слалом» з подальшим транспортуванням гною насосами.

За кордоном ведеться активна робота зі створення нових технічних засобів механізації і автоматизації виробничих процесів. В результаті створені роботизовані і автоматизовані гноезбиральні системи, автоматизовані лінії роздавання кормів на кормові столи.

Вибір тієї чи іншої технології визначається конкретними умовами господарства, розмірами та плануванням приміщень для реконструкції і нового будівництва, а також фінансовими ресурсами, для придбання високоефективних засобів механізації та автоматизації виробництва. Приріст виробництва молока повинен формуватися за рахунок поліпшення годівлі тварин, що забезпечується підвищенням якості кормів, рецептури споживаних комбікормів, а також підвищенням генетичного потенціалу молочної продуктивності дійного стада.

Одним з найбільш прогресивних є технологія годівлі ВРХ повнораціонними кормосумішами. У такій суміші вуглеводи, протеїн, клітковина, мікро- і макроелементи знаходяться в потрібному для задовільного травлення співвідношенні. Ці умови виконуються, якщо повноцінність годівлі корів здійснюються за вдосконаленими науково-обґрунтованими деталізованими нормами, враховують потребу тварин в енергії, вуглеводах, жирах, мінеральних речовинах і вітамінах; обов'язкове включення в раціони грубих, соковитих і концентрованих кормів в оптимальному співвідношенні. У порівнянні з роздільним згодовуванням кормів на 7–15% підвищується молочна продуктивність



корів, поліпшуються показники відтворення та здоров'я тварин і знижується витрата кормів до 15%.

На молочних фермах приготування, доставка та роздавання кормосумішей на кормові столи здійснюється мобільними роздавачами-змішувачами різних типів та їх аналогів, адаптованих до умов вітчизняних тваринницьких ферм. Роздавачі-змішувачі, що випускаються в Україні та імпорتنі не дозволяють здійснювати дозування комбікормів по групах тварин після завантаження. Розробка і застосування такого вітчизняного роздавача повинна забезпечити необхідну ступінь подрібнення, більш високу точність дозування і рівномірність змішування не менше 90%, при цьому зниження витрати палива повинно досягти 8–10%.

Слід зазначити, що застосування мобільних роздавачів-змішувачів для приготування, доставки і роздавання кормосумішей не єдине і не завжди раціональне рішення. Це дуже дорогі і енергоємні машини, для ефективного використання яких необхідні механізовані сховища компонентів раціону.

У багатьох випадках більш раціональні стаціонарні кормоприготувальні агрегати, що розміщуються в невеликих приміщеннях, зблокованих зі складом зберігання поточного запасу концентрованих кормів і добавок, або безпосередньо в цих складах.

При поїданні корму тварини розкидають його з кормового столу. Тому в проміжках між годівлями корм періодично присувають до бортів кормового столу. Фірма Lely (Нідерланди) розробила роботизовану установку для переміщення корму на кормовому столі.

Останнім часом знаходить застосування технологія годівлі корів з використанням автоматичних станцій, встановлених у корівниках і в доїльних роботах, що забезпечує диференційований розподіл самих дорогих концентрованих кормів. Завдяки нормованій видачі тваринам тільки комбікормів можна підвищити продуктивність на 12–15% і зменшити споживання кормових ресурсів на 10–12%.

Утримання молочної худоби пов'язано з великими витратами праці на доїння (затрачається до 35% всього робочого часу на обслуговування тварин). При безприв'язному утриманні доїння корів здійснюється в спеціальних доїльних залах (на установках типу «Ялинка», «Тандем», «Паралель», «Карусель»).

Автоматизовані доїльні установки типу «Ялинка», «Паралель» та «Карусель» модульного виконання в достатній кількості в країні не випускається, хоча застосування таких установок може забезпечити підвищення продуктивності праці і комплектацію ними доїльних залів на фермах в 1000 корів і більше.

Крім того, останнім часом активно впроваджується система добровільного доїння з використанням роботів-доярів. В даний час у



світі створено і працює більше 10 тис. доїльних роботів. Застосуванням роботів забезпечується досягнення максимальної реалізації генетичного потенціалу тварин, продовження терміну господарського використання тварин до 4 лактацій. Головне завдання зараз полягає у досягненні високого рівня продуктивності молочної худоби в товарних стадах за рахунок заміни порід традиційного екстенсивного типу тваринами високо-інтенсивних промислових порід і нових внутрішньо-породних типів.

Аналіз машинних технологій показує, що машини та обладнання, необхідні для оснащення реконструйованих і споруджуваних ферм, в Україні випускаються лише частково. Нове перспективне обладнання вимагає розробки та освоєння у виробництві.

*Висновки.* В результаті аналізу вітчизняного і зарубіжного досвіду та проведених досліджень виявлені наступні тенденції розвитку технологій і технічних засобів для молочного скотарства.

1. Підвищення ефективності виробництва молока, передусім, за рахунок розширення масштабів освоєння безприв'язного способу утримання корів з доїнням в доїльних залах на установках типу «Ялинка», «Паралель», «Карусель», і доїльними роботами, встановленими безпосередньо в корівнику, а також з максимальним використанням генетичного потенціалу тварин та енергії корму.

2. Нормована годівля тварин, для чого доцільно використовувати для роздавання кормів змішувачі-роздавачі, кормові станції, або стаціонарні кормоприготувальні пункти в поєднанні з мобільними роздавачами.

3. Створення та застосування енергозберігаючих екологічно безпечних технологій та автоматизованих комплексів машин для прибирання гною з тваринницьких приміщень, транспортування його до місць зберігання і переробки.

4. Створення і застосування роботів для очищення стійл, кормових і гнойових проходів, що дозволяють повністю замінити людину при виконанні операцій.

Список використаних джерел.

1. Boltyansky B.V., Boltyansky O.V. 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. Pp.49–54

2. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / International Energy Agency. Paris, 2014. 238 с.

3. Skliar A., Boltyanskyi B. 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.*

4. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production: Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conf. Uman, 2019. P. 18-20.*

5. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine: Coll. scientific-works of Intern. Research Practice Conference. Nizhin, 2019. P. 84-91.*

6. Komar A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. *TDATU Scientific Bulletin. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44-56.*

7. Болтянська Н. І. Умови забезпечення ефективного застосування ресурсозберігаючих технологій в молочному скотарстві. *Праці ТДАТУ. 2016. Вип. 16. Т.2. С. 153-159.*

8. Болтянська Н. І. Забезпечення якості продукції у галузі сільськогосподарського машинобудування. *Науковий вісник НУБіП. Сер. «Техніка та енергетика АПК». Київ. 2014. Вип.196, ч.1. С. 239-245.*

9. Болтянский О.В. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa. 2016. Vol.18. No13, b. Pp.49-54.*

10. Скляр Р. В., Комар А. С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.*

11. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. *Condor Publishing House. 2018. 380 p.*

12. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: *Color Print. 2012. 720 p.*

13. Boltyanskaya N. I. The dependence of the competitiveness of the pig industry from it-chnology parameters of productivity of the animals. *Bulletin of Kharkov national University-University of agriculture after Petro Vasilenko. Kharkov. 2017. Vol. 18. 81-89.*

14. 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.*

15. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings» 2017. P. 155-158.*

16. Скляр О. Г. Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник. К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.



17. Skliar O., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Vol. 16, No 2. P. 183-188.

18. Skliar R. 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.

19. Болтянський О. В. Екологічна безпека виробництва та зменшення витрат матеріальних і енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. *Науковий вісник НУБіП. Серія Техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип.212, ч.1. С. 275–283.

Болтянський О. В. Зменшення витрат енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. *Крамаровські читання: зб. тез доп. II Міжнар. наук.-техн. конф.* Київ: НУБіП, 2015. С. 54–55.

## ІННОВАЦІЙНИЙ РОЗВИТОК ТЕХНІКИ ДЛЯ МОЛОЧНОГО СКОТАРСТВА

Болтянська Н. І., Маніта І. Ю.

### *Анотація*

В статті проаналізована технологія виробництва молока, що застосовується на молочно-товарних фермах України. Надано рекомендації застосування технологій для дійного стада. Наведено відмінні елементи цих технологій при використанні підстилки, на килимках або на матах і при різних поєднаннях систем утримання та принципів обслуговування. Виявлені наступні тенденції розвитку технологій і технічних засобів. 1. Підвищення ефективності виробництва молока за рахунок розширення масштабів освоєння безприв'язного способу утримання корів з доїнням в доїльних залах і доїльними роботами, а також з максимальним використанням генетичного потенціалу тварин та енергії корму. 2. Нормована годівля тварин, для чого доцільно використовувати для роздавання кормів змішувачі-роздавачі, кормові станції, або стаціонарні кормоприготувальні пункти в поєднанні з мобільними роздавачами. 3. Створення та застосування енергозберігаючих екологічно безпечних технологій та автоматизованих комплексів машин для прибирання гною 4. Створення і застосування роботів для очищення стійл, кормових і гнойових проходів.

**Ключові слова** – молочно-товарна ферма, виробництва молока, техніка, інноваційний розвиток.

## ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНИКИ ДЛЯ МОЛОЧНОГО СКОТОВОДСТВА

Болтянская Н. И., Манита И. Ю.

### *Аннотация*

В статье проанализирована технология производства молока, что применяется на молочно-товарных фермах Украины. Даны рекомендации применения технологий для дойного стада. Приведены отличительные элементы этих технологий при использовании подстилки, на ковриках или матах и при различных сочетаниях систем содержания и принципов обслуживания. Выявлены





следующие тенденции развития технологий и технических средств. 1. Повышение эффективности производства молока за счет расширения масштабов освоения беспривязного способа содержания коров с доением в доильных залах и доильными роботами, а также с максимальным использованием генетического потенциала животных и энергии корма. 2. Нормированная кормление животных, для чего целесообразно использовать для раздачи кормов смесители-раздатчики, кормовые станции, или стационарные кормоприготовительные пункты в сочетании с мобильными раздатчиками. 3. Создание и применение энергосберегающих, экологически безопасных технологий и автоматизированных комплексов машин для уборки навоза. 4. Создание и применение роботов для очистки стойл, кормовых и навозных проходов.

**Ключевые слова** – молочно-товарная ферма, производство молока, техника, инновационное развитие.

## INNOVATIVE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY FOR DAIRY CATTLE N. Boltianska, I. Manita

### Summary

Technical re-equipment of livestock through the use of highly efficient sets of machines is an important and necessary factor in the reproduction and development of livestock in the future. Under the influence of new technology is the improvement of the organizational and technological bases of production, the technology of preparation of feed for feeding: grinding, blending, cleaning and balancing rations, provision of animal habitat in accordance with their physiological needs, which leads to improvement and enhancement of the utilization of genetic potential of animals, increase of economic indicators of production, quality of production improves and the cost of implementation, reduced losses, and inefficient use of raw materials. The article analyzes the technology of milk production that is applied to dairy farms of Ukraine. This recommendation of applying the technology to dairy cattle in Ukraine based on loose-box contents cows. Given the distinctive elements of these technologies in the use of litter on rugs or mats and with different combinations of systems of content and service principles. The analysis of domestic and foreign experience and the conducted research revealed the following trends in the development of technologies and technical means. 1. Improving the efficiency of milk production due to the expansion of the scale of the development of the loose ways of keeping cows with milking in milking parlours and milking robots, as well as with maximum use of genetic potential of animals and energy of the feed. 2. Normalized feeding animals, which is useful for feeding mixer feeder, feeding station, or fixed feed preparation items in conjunction with the mobile distributors. 3. The creation and use of energy-saving, environmentally friendly technologies and automated complexes of machines for cleaning manure from livestock buildings, transport it to the place of storage and processing. 4. Creating and using robots to clean stalls, feed and manure passages, which can replace humans in operations.

**Key words** – dairy farm, milk production, technology, innovative development.



УДК 662.75

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-6

## ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМІЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ

Скляр О. Г., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Скляр Р. В., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1547-5100

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* У зв'язку із загостренням екологічних проблем в Україні [1-4], пов'язаних із забрудненням довкілля відходами сільського господарства (пташиним послідом, стічними водами та іншими відходами птахофабрик, гноєм і відходами тваринницьких комплексів) та життєдіяльності людини, досить актуальними є питання щодо визначення перспективних напрямів їх утилізації, тобто використання як вторинних матеріальних чи енергетичних ресурсів.

В наш час застосовують біологічні, термічні, хімічні, механічні та змішані методи утилізації [5-9] органічних відходів. З огляду на необхідність забезпечення екологічної та енергетичної безпеки держави особливо актуальним є вивчення перспектив термічних методів переробки пташиного посліду [10,11], який накопичується в великій кількості поблизу птахофабрик і може бути фактором передачі понад 100 збудників інфекційних та інвазійних хвороб. Такий стан може призвести в найближчий час до екологічної катастрофи, забруднення територій господарств і прилеглих районів.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблеми вторинного використання та утилізації відходів сільськогосподарського виробництва досліджують Г. Г. Гелетука [12], І. М. Демчак, А. А. Долінський, Т. А. Желєзна [13], М. М. Жовнір, Г. М. Калетнік, Ю. В. Кернасюк, М. І. Кобець, А. Є. Коненченков, В. М. Лісничий, В. П. Сіденко, О.М. Ларина та ін. Проте до цього часу проблема утилізації відходів остаточно не вирішена, тому необхідність вивчення перспектив застосування передових, екологічно безпечних технологій утилізації органічних відходів є очевидною [10-12]. Відзначаючи наукову значимість і практичну цінність цих робіт, необхідно зазначити, що технологічна обґрунтованість і економічна доцільність переробки пташиного посліду визначаються його кількістю і вологістю.



*Формулювання мети статті.* Зробити порівняльний аналіз існуючих термічних методів переробки пташиного посліду.

*Основна частина.* Існуючі технології та установки для переробки пташиного посліду передбачають механічне зневоднення (центрифугування), сушку, метанове зброджування в біореакторі з отриманням біопалива, гранулювання біомаси, виробництво добрив, компостування [8,10-12]. Процеси є багатоопераційними, вимагають великої кількості обладнання та енергії, не забезпечують належним чином охорону атмосфери від парогазових викидів з систем сушіння, мають невисоку продуктивність, не завжди відповідають санітарним вимогам, зокрема при компостуванні пташиного посліду не виключається можливість поширення різних захворювань, забруднення ґрунтових вод і навколишньої території.

Основний хімічний склад посліду наступний, %: сухі речовини 34,5–48,3; зола 14–40 (в тому числі кальцій до 8,5; фосфор – 2–3; сирий жир (ефірний екстракт) – 2,9–4,5; сира клітковина – 14,25; безазотисті екстрактивні речовини – 46–48 [10,11]. До складу пташиного посліду входить клітковина, яка під дію високої температури розкладається на велику кількість простих органічних речовин, які є горючими.

На урожай добриво з посліду діє майже так само, як комплексні мінеральні добрива. Він володіє яскраво вираженою післядією протягом 2-3 років після внесення. Це пояснюється тим, що корисні речовини [10,11] з посліду вивільняються поступово. Добриво з пташиного посліду збалансоване за поживними речовинами і мікроелементами, екологічно чисте комплексне добриво, що містить всі необхідні поживні речовини для росту і розвитку рослин [10,11].

На підставі вище сказаного нами пропонується зробити порівняльний аналіз існуючих термічних методів переробки пташиного посліду.

Класифікацію термічних способів переробки біомаси можна проілюструвати на прикладі схеми (рис. 1), наведеної в роботі [14]. Існують три основні види термохімічної переробки - піроліз, газифікація і спалювання.

*Піроліз* - процес термічної деструкції органічної маси, що протікає при температурах 300...700°C в безкисневому середовищі. В результаті піролізу утворюється піролізна рідина, твердий залишок (біовугілля) і НПГ (неконденсовані піролізні гази). Піроліз може бути класифіковано залежно від швидкості нагріву сировини на повільний і швидкий [14]. Повільний піроліз, що протікає при низьких швидкостях нагрівання і, відповідно, великого часу перебування сировини в реакторі (від 1 год. до кілька днів), використовується для отримання максимальної кількості біовугілля [15,16]. Швидкий піроліз, що протікає при високих швидкостях нагріву і короткому часі перебування

матеріалу при заданих умовах, застосовується для отримання максимального виходу піролізної рідини [16]. Швидкість нагріву матеріалу при швидкому піролізі зазвичай становить 10...200 °C/c [16]. Піролізна рідина застосовується як паливо для котлів, двигунів внутрішнього згоряння для отримання теплової та електричної енергії, а так само рідкого палива для транспорту [16].

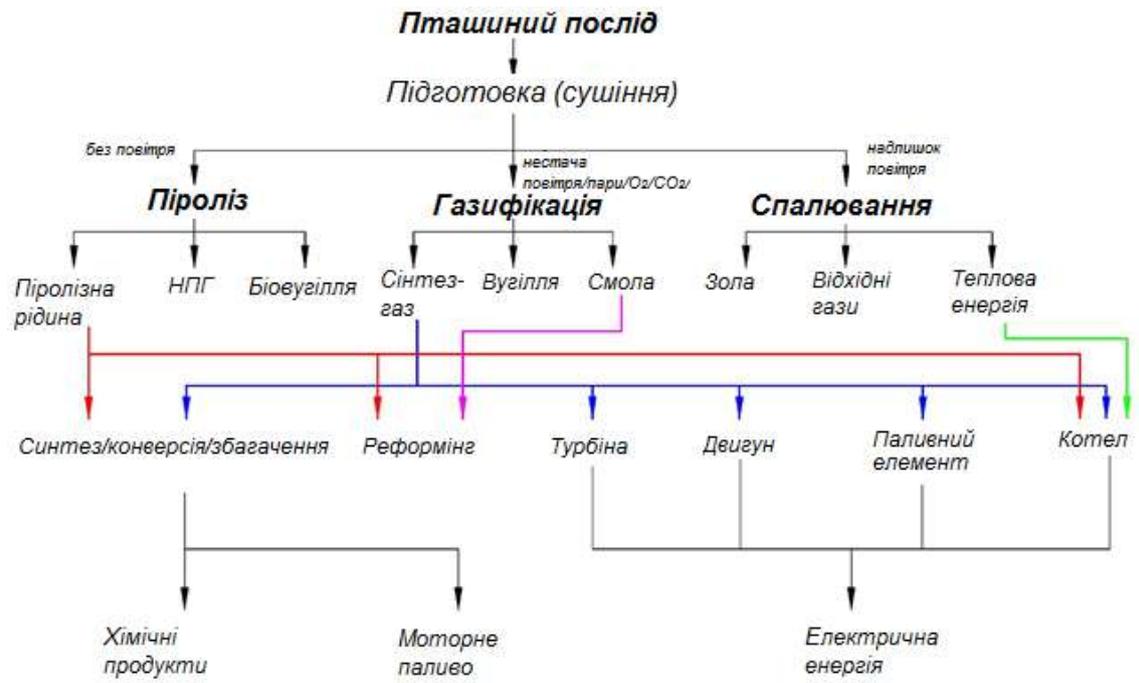


Рис. 1. Термічні способи переробки, що отримуються продукти і їх застосування

Піроліз біомаси в основному проводиться з метою отримання рідкої фракції, в наслідок чого процес відбувається при високих швидкостях нагрівання (швидкий піроліз). Процес перетворення органічної маси в леткі сполуки і твердий залишок починається при температурі понад 200 °C і супроводжується різними реакціями з розривом існуючих і утворенням нових хімічних зв'язків [17]. Цей процес разом з випаровуванням вологи (100–200°C), що міститься в сировині отримав назву первинний піроліз [14]. Він є важливим початковим кроком у всіх видах термохімічної конверсії сировини, зокрема спалювання, газифікацію та піроліз. Процес термічного розпаду відбувається в три стадії:

1. Розпад легко розкладаємих органічних сполук і знищення патогенних мікроорганізмів (температура стадії – 200–300 °C).

2. Розпад органічних полімерів, що входять до складу речовини (температура стадії – 300–450 °C). Дана стадія є основною.



3. Термічний розпад важко розкладаємих компонентів, таких як целюлоза (температура стадії - більше 450 °С) [14].

Піролізна рідина, яку отримано з осадів стічних вод (ОСВ), має рівень кислотності  $pH = 5,1-6,8$ , в той час як піролізна рідина з біомаси є кислотний розчин з  $pH = 2,8-3,0$  [17]. Присутність в її складі фенолів, амонійних і азотовмісних сполук призводить до того, що вона має нейтральну реакцію [16]. Азотовмісні сполуки при спалюванні легко конвертуються в  $NO_x$  і  $NO_2$ , тому їх присутність у великій кількості в складі піролізної рідини накладає обмеження на її використання.

Піролізна рідина з ОСВ має більшу нижчу теплоту згоряння (18,8 МДж/кг при вмісті води 23%) [16], ніж піролізна рідина з біомаси (13–18 МДж/кг при вмісті води 20–40%) [18], але при цьому істотно меншу, ніж нижча теплота згоряння мазуту (40,7 МДж/кг) [18], який використовується в якості рідкого палива. Зниження теплоти згорання відбувається внаслідок її високої вологості та наявності кисневмісних сполук, які можуть становити до 1/3 від її маси. Наявність кисневмісних сполук також призводить до внутрішньої нестабільності піролізної рідини і викликає реакції полімеризації, що збільшує щільність і знижує її паливні якості [17]. Крім рідкої фракції в результаті піролізу утворюються неконденсовані піролізні гази і твердий залишок.

Основними недоліками твердого залишку є його висока зольність (68–74%), наявність важких металів і сірки. Важкі метали в твердому залишку від піролізу більш стійкі до процесів природного вилуговування, ніж зола від спалювання або вихідні ОСВ [19]. Твердий залишок може бути використано в якості добрива внаслідок високого вмісту азоту, навіть при наявності в ньому важких металів [17]. Вища теплота згоряння твердого залишку становить 5–21 МДж/кг [16]. Теплота згоряння залишку близько 5 МДж/кг робить його непридатним для спалювання та інших видів енергетичного використання. У цьому випадку залишок підлягає захороненню. Твердий залишок з великим тепловмістом може бути використано для отримання додаткової енергії шляхом спалювання, але в цьому випадку потрібні пристрої для очищення вихлопних газів від сполук, які містять важкі метали, що робить технологію більш вартісною.

Як самостійний процес піроліз пташиного посліду зазвичай проводиться для отримання рідкої фракції [20]. Початкова вологість сировини впливає на кількість води в отриманій піролізній рідині, в зв'язку з чим використовувати пташиний послід в його початковому вигляді недоцільно. Тому при піролізі перевага віддається підстилковому посліду (ПДП). У таблиці 1 представлені дані по виходу продуктів швидкого піролізу ПП і пташиного посліду [20].

Піролізна рідина, що утворюється в результаті піролізу, після відстоювання розшаровується на дві фракції. Перша фракція



складається із з'єднань, що містять в більшій кількості S, N, O і в меншій C і H.

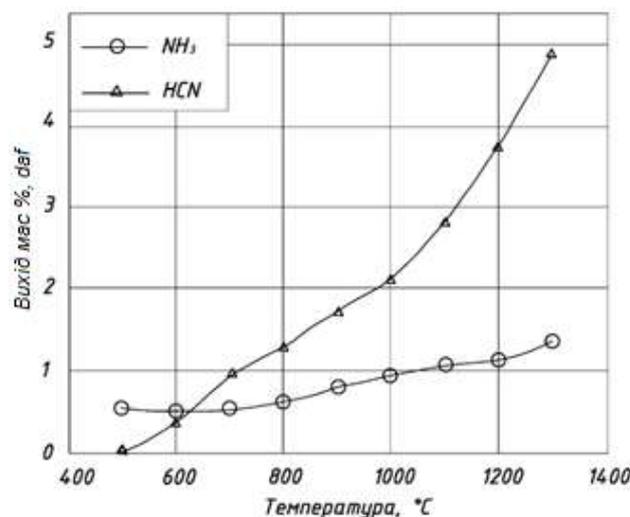
Таблиця 1

Вихід продуктів швидкого піролізу ПП і пташиного посліду

Вид палива	Вологість сировини, проц.	Температура, °C	Вихід продуктів, проц.		
			Газ	Рідина	Вугільний залишок
Пташиний послід	38...42	330	23	50	27
ПДП	33...35	500	43	23	34

Нижча теплота згоряння даної фракції становить 4,6МДж/кг. Друга фракція більш насичена важкими вуглеводнями, теплота згоряння даної фракції становить 27,9 МДж/кг, в зв'язку з чим вона представляє більший інтерес, як потенційне біопаливо. Співвідношення фракцій у складі піролізної рідини становить 1:2,3 [17]. Згідно [21], вища теплота згоряння піролізної рідини становить 28 МДж/кг, що пояснюється тим, що пташиний послід в початковому вигляді містить велику кількість білкових з'єднань.

У піролізних газах, отриманих в результаті піролізу пташиного посліду, контролюється вміст аміаку і HCN, як основних азотовмісних сполук, що утворюються при швидкому піролізі пташиного посліду (рис. 2).



\* *daf* – сухий беззольний стан

Рис. 2. Вихід азотовмісних компонентів в складі піролізних газів

Основним компонентом при температурі нижче 600 °C є NH<sub>3</sub> (менше 1 мас.%). При збільшенні температури зростає відношення HCN/NH<sub>3</sub> в складі газів і вже при температурі понад 800°C воно досягає



величини 2 [18]. Малий вихід HCN і NH<sub>3</sub> при температурах менше 600°C пояснюється тим, що більша частина азоту залишається в вугільному залишку [18].

*Газифікація* - процес термохімічного розкладання органічної маси з метою отримання газоподібного палива, зазвичай складається з H<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> і домішок, таких як N<sub>2</sub>O, SO<sub>x</sub> [17]. Процес протікає при високих температурах (800...900°C і вище) в середовищі з нестачею кисню. В якості газифікуючого середовища використовується повітря, кисень, водяна пара або їх суміш [14]. Теплота згоряння отриманої газової суміші залежить від виду газифікуючого середовища, що використовується.

При повітряній газифікації теплота згоряння отриманої газової суміші становить 4...7 МДж/м<sup>3</sup>, при кисневій – 12...28 МДж/м<sup>3</sup> [20]. Отримана газова суміш використовується для отримання енергії шляхом спалювання в котлі, двигуні і турбіні, а також для виробництва електричної енергії в твердопаливних елементах [14].

Основною метою газифікації є отримання максимального виходу горючого газу. Газифікація біомаси проводиться в основному в повітряному середовищі. Процес газифікації ділиться на чотири основні стадії:

1. Сушка
2. Піроліз
3. Окислення
4. Газифікація [14].

Для здійснення процесу газифікації використовують газифікатори з нерухомим і псевдозрідженим шаром сировини [14]. Реактор з нерухомим шаром може бути з висхідним (гази, отримані в результаті реакцій, рухаються в протivotоці з сировиною) або низхідним (гази, отримані в результаті реакцій, рухаються в потоці з сировиною) потоком. У реакторі з низхідним потоком парогазова суміш летючих продуктів піролізу взаємодіє з твердим залишком піролізу при температурах порядку 1000...1100 °C, що призводить до зменшення частки рідкої фракції і збільшення вмісту H<sub>2</sub> і CO в кінцевих продуктах [16].

Основну частку газової суміші, одержуваної в результаті повітряної газифікації, складають азот, який потрапляє разом з газифікуючим агентом, CO, H<sub>2</sub> і CO<sub>2</sub>. При використанні повітряного дуття газова суміш має нижчу теплоту згоряння не вище 5,7 МДж/м<sup>3</sup>. У газі присутні смоли і тверді частинки у вигляді пилу. У порівнянні з газовими сумішами, які отримані в результаті піролізу, газові суміші, що одержувані шляхом газифікації мають більш низьку теплоту згоряння, але значно менший вміст смол.



Отриманий в результаті газифікації газ використовується в двигунах внутрішнього і зовнішнього згоряння або в твердооксидних паливних елементах для отримання електричної енергії. Вміст вуглеводнів, з одного боку, забезпечують відносно високу теплоту згоряння газової суміші, що робить її придатною для спалювання, з іншого боку, застосування отриманої газової суміші в паливних елементах або для отримання водню вимагає зниження вмісту вуглеводнів і збільшення виходу  $H_2$ . Для цих цілей температуру процесу знижують до  $900\text{ }^\circ\text{C}$  або використовують каталізatori [18]. Таким чином, в залежності від застосування газових сумішей використовують різні типи газифікаторів.

Смоли, що знаходяться в газі, при зниженні температури газу до температури їх конденсації викликають корозію і забруднення трубопроводів. Пряме спалювання газу в котлі не має обмежень за змістом смол. При використанні газу в твердопаливних елементах необхідно, щоб вміст смоли був не більше  $1\text{ мг/м}^3$  [18]. Для очищення газів від смол застосовуються скрубери і фільтри. Основний їх недолік в тому, що в результаті утворюється велика кількість стічних вод, а також введення системи очищення газів роблять технологію газифікації більш дорогою [22].

Умови протікання процесів газифікації є сприятливими для утворення таких сполук, як амоній ( $NH_3$ ), ціанід водню ( $HCN$ ) і сірководень ( $H_2S$ ). При подальшому спалюванні таких газів утворюються оксиди ( $NO_x$ ,  $N_2O$ ,  $SO_x$ ), що викликають забруднення атмосферного повітря, кислотні дощі, руйнування озонового шару. Сірководень також викликає корозію трубопроводів і лопаток турбін [23].

Газифікація пташиного посліду здійснюється в основному в паровому середовищі. Механізм її протікання є схожим з механізмом газифікації ОСВ. Склад продуктів газифікації пташиного посліду є наступним:  $80,8\%$  припадає на газоподібні продукти і смоли,  $19,2\%$  припадає на вугільний залишок [22]. При цьому смоли зазвичай складають не більше  $5\%$  від початкової маси вихідної сировини [22].

В результаті газифікації основними газовими компонентами є  $H_2$ ,  $CH_4$ ,  $H_2O$ ,  $CO$  і  $CO_2$ . У незначних кількостях присутні  $NH_3$ ,  $H_2S$  і  $HCl$ . При температурах понад  $750\text{ }^\circ\text{C}$  відбувається процес зворотного розкладання  $CaCO_3$  на  $CaO$  і  $CO_2$  [23].

Установки по газифікації пташиного посліду зазвичай встановлюються на невеликих фермах для власних потреб [23].

*Спалювання* - процес горіння органічного матеріалу в повітрі. При спалюванні і газифікації протікають схожі між собою хімічні реакції. Істотна відмінність процесу спалювання від газифікації полягає в тому, що процес спалювання спрямовано на перетворення





хімічної енергії, закладеної в матеріалі, безпосередньо в теплову енергію, в той час як при газифікації утворюється газоподібне паливо, яке згодом може бути використано для отримання теплової енергії [14].

Спалювання пташиного посліду, як і спалювання інших відходів, - це процес, що протікає при високих температурах з надлишком кисню, метою якого є або отримання теплової енергії, або значне зменшення об'єму з можливістю отримання додатково теплової енергії [14]. Продукт, який потрібно отримати при спалюванні, визначає ступінь попередньої підготовки сировини. Якщо метою є тільки утилізація, тобто зменшення об'єму, то може використовуватися сировина з вологістю 65...80% [19]. Для отримання теплової енергії бажано підвищити теплоту згоряння сировини, що спалюється, тому її попередньо сушать до вологості 18...35% [19].

У процесі спалювання виділяється 6 основних стадій:

1. Сушка
2. Процес виходу летючих + автогазифікація.
3. Горіння летучих компонентів
4. Плавлення золи
5. Горіння вуглецю твердого залишку
6. Утворення агломератів золи.

Залежно від виду реактора, що використовується для спалювання, процес виходу летючих з палива може відбуватися послідовно або паралельно з процесом сушіння. Пари води і  $\text{CO}_2$ , що входять до складу летких, ще до введення окислювача починають реагувати з зовнішнім шаром вугільного залишку, що утворюється, - відбувається процес автогазифікації [24]. Через високий вміст летючих і низький вміст зв'язаного вуглецю процес виділення теплової енергії відбувається за рахунок спалювання летучих компонентів, що відрізняється від процесу спалювання вугілля, при якому виділення теплової енергії відбувається за рахунок повільного окислення твердого залишку. У присутності кисню летючі з великою швидкістю окислюються, утворюючи  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_x$  і ін. Реакції утворення газової фракції є екзотермічні, внаслідок чого починається процес плавлення золи. Паралельно з цим йде горіння вуглецю, що залишився в твердому залишку, і утворення агломератів золи. Температура даної стадії складає 900–1300°C [14]. Для процесу спалювання використовують в основному два види пристроїв: багатоподові печі і реактори з псевдозрідженим шаром [14].

Після спалювання газ з реактора виходить при температурі 850...1300°C. Тепло, що міститься в газі, далі використовується в технологічному циклі (підігрів повітря, що використовується в якості окислювача, попередня сушка сировини) або направляється зовнішньому споживачеві [14].



Проблеми технології спалювання осаду є схожими з проблемами газифікації - необхідність використання термічно висушеного осаду, висока зольність отриманого твердого залишку, рухливість важких металів, забрудненість вихлопних газів.

Висока вологість вихідної сировини в значній мірі впливає на процес його згоряння. Спалювання пастоподібного осаду може привести до утворення великих часток в камері згоряння, що ускладнює процес перенесення твердого залишку і уповільнює перебіг хімічних реакцій. При спалюванні осаду після механічного зневоднення (вологість 80%) з теплою згоряння близько 4 МДж/кг не вистачає тепла екзотермічних реакцій окислення летючих речовин, що вимагає використання додаткового палива (наприклад, природного газу). Для здійснення стабільного процесу горіння необхідно, щоб вологість осаду не перевищувала 30–40% [23]. Наявність великої кількості вологи в паливі може привести до інтенсифікації реакції між  $H_2S$  і  $H_2O$  з утворенням  $H_2SO_3$  і ерозії трубопроводів в котлах [23].

Висока зольність отриманого твердого залишку призводить до утворення агломератів золи, які накопичуються всередині камери згоряння і ускладнюють процес спалювання в псевдозрідженому шарі. Згідно з дослідженнями, результати яких представлені в [23], практично всі важкі метали в процесі горіння осідають на поверхні частинок золи, які літають всередині камери згоряння.

Особливістю пташиного посліду є низька температура плавлення золи через присутність в її складі натрію, калію, фосфору [20]. У дослідженнях, проведених в [22], показано, що температура початку деформації золи становить  $970^{\circ}C$ . Якщо температура робочої зони всередині топки при спалюванні підніметься вище температури деформації золи, то поверхня палива, яке не встигло прогоріти, покривається плівкою з розплаву золи, колосники закоксуваються, а частки легкоплавкої золи, які виносяться газами, осідають на поверхнях димоходів і теплообмінників, що зі часом призводить до їх засмічення [24]. У зв'язку з цим процес спалювання пташиного посліду здійснюється так, що температура всередині робочої зони топки не піднімається вище  $850^{\circ}C$  [24]. Новоутворена зола являє собою цінне добриво, в складі якого присутній калій, натрій, фосфор, кальцій [23]. Присутність кальцію в складі золи призводить до того, що він пов'язує сірчані сполуки, які входять до складу пташиного посліду, а це сприяє зниженню виходу  $SO_x$  в складі газів [14]. У газових сумішах, що утворюються при спалюванні пташиного посліду, контролюється вміст парникових газів ( $N_2O$ ,  $CO_2$ ),  $NH_3$ ,  $NO_x$ ,  $HCl$ ,  $SO_x$ . [17].

Порівняння показників, що характеризують різні види термохімічної переробки ОСВ і доцільність їх використання, представлено в таблиці 2.



Таблиця 2

## Характеристики піролізу, газифікації та спалювання ОСВ

Показники	Піроліз	Газифікація	Спалювання
Основний продукт, (масова доля від вихідного, проц.)	Піролізна рідина (20...52%)	Газ (до 90%)	Газ (більше 60%)
Побічний продукт, (масова доля від вихідного, проц.)	Газ (3...28%), твердий залишок (35...62 %)	Твердий залишок (до 30%)	Зола (до 44%)
Засміченість газової фракції	Пари Hg, H <sub>2</sub> S, NO <sub>2</sub> , смоли	Пари Hg, смоли, пил, NH <sub>3</sub> , HCN, H <sub>2</sub> S, можлива наявність Zn, Pb і Cu	Пари Hg, H <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> , NO, NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , SO <sub>3</sub>
Засміченість твердого осаду	Важкі метали (менш рухома форма), сірка	Важкі метали (більш рухома форма), сірка	Важкі метали (більш рухома форма)

Всі три види термохімічної конверсії ОСВ дозволяють знизити його об'єм, при цьому отриманий твердий залишок забруднений важкими металами, рухливість яких мінімальна при використанні піролізу. Газова фракція у всіх випадках містить оксиди сірки, азоту, а також пари ртуті, що вимагає наявності потужних очисних систем. Основним продуктом газифікації і спалювання є газ, який використовується для отримання теплової та електричної енергії. Піролізна рідина, як основний продукт піролізу ОСВ, застосовується як паливо, але вимагає більш ретельної підготовки - зниження вологості, виділення потрібної фракції.

Властивості продуктів, одержуваних при використанні термічних методів переробки пташиного посліду, вельми схожі з властивостями продуктів, одержуваних з ОСВ. Як особливості можна відзначити низьку точку плавлення золи пташиного посліду.

В результаті піролізу вихід газу складає не більше 28% від маси вихідної сировини, при цьому теплота згоряння отриманої газової суміші доходить до 17 МДж/м<sup>3</sup>. Одним з переваг піролізу є те, що важкі метали в твердому залишку стають менш рухливими, ніж при використанні процесів газифікації і спалювання, а температура, характерна для піролізу (450...600°C), дозволяє виключити випаровування більшої їх частини.



Термічні способи переробки мають значні переваги перед іншими способами: в кілька разів знижується об'єм сировини, що переробляється, важкі метали в складі вихідних ОСВ після термічної переробки в основному локалізуються в твердому залишку, переробляється практично 100% всієї органіки, що міститься в сировині, повністю знищується патогенна мікрофлора.

*Висновки.* Серед термічних методів перевагу слід віддати газифікації і піролізу, тому що в результаті цих процесів відбувається конверсія вихідної речовини в газоподібне і рідке паливо, в той час як при спалюванні основним продуктом є теплова енергія. Переробка вихідної вуглеводневої сировини в газ, який має більш широку сферу застосування в порівнянні з рідкою фракцією, представляється найбільш доцільною, в зв'язку з чим газифікація має незаперечну перевагу, що полягає у високому ступені конверсії вихідної сировини в газ (до 90%). У той же час одержуваний газ має порівняно низьку теплоту згоряння (у середньому не більше 6 МДж/м<sup>3</sup>), а температура процесу така, що частина важких металів, що містяться в ОСВ, випаровується, потрапляючи в газ.

#### Список використаних джерел

1. Скляр О. Г. Методологія оптимізації ресурсовикористання у тваринництві. Праці ТДАТУ. Мелітополь, 2011. Вип. 11. Т.5. С. 245-251.

1. Скляр О. Г. Методологія оптимізації ресурсовикористання у тваринництві. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 5. С. 245-251.

2. 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, № 1. P. 269-274. DOI: <https://doi.org/10.35633/inmateh-60-30>.

3. Мельник В. О. Екологічні проблеми сучасного птахівництва. *Птахівництво*. 2009. Вип. 63. С. 1-15.

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

5. Скляр Р. В. Теоретичні дослідження режимів і параметрів метантенку біогазової установки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-14.

6. Скляр О. Г. Аналіз роботи біогазових установок. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С. 132-138.



7. Скляр Р. В. Аналіз способів подачі субстрату в метантенк біогазової установки. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-4.
8. Энерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б. В. Болтянський та ін. Київ: Кондор, 2020. 410 с.
9. Скляр Р. В. Аналіз способів та засобів для перемішування субстрату в метантенках біогазових. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research*. Київ, 2019. Вип. 10. № 4. С. 19-26.
10. Скляр О. Г. Дослідження способів утилізації відходів птахівництва і тваринництва. *Сучасні проблеми та технології аграрного сектору України*. Ніжин, 2019. Вип. 12. С. 298-304.
11. Войтов В. А. Аналіз технологій утилізації відходів птахівництва за кордоном. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 100-109. DOI: 10.31388/2078-0877-19-4-100-109.
12. Skliar A. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol. 16, № 2 (b). P. 183-188.
13. Гелетуша Г. Г., Железна Т. А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні: аналітична записка БАУ № 7. *Біоенергетична асоціація України*, 2014. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-7-ua.pdf> (дата звернення: 10.10.2020).
14. Thermochemical processing of sewage sludge to energy and fuel: Fundamentals, challenges and considerations / Syed Shatir A Syed-Hassan et al. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017. Vol. 80. P. 888–913. DOI: 10.1016/j.rser.2017.05.262.
15. Скляр Р. В. Напрями використання органічних ресурсів у тваринництві. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2011. Вип. 11, т. 5. С. 210-217.
16. Kan T., Strezov V., Evans T. J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: a review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 2016. Vol. 57. P. 1126–1140.
17. Urban D. L., Antal M. J. Study of the kinetics of sewage sludge pyrolysis using DSC and TGA. *Fuel*. 1982. Vol. 61. P. 799–806.
18. Chiaramonti D., Oasmaa A., Solantausta Y. Power generation using fast pyrolysis liquids from biomass. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 2007. Vol. 11. P. 1056–1086.
19. Иванов Ю. Г., Шафеев А. Ф., Целиков В. В. Особенности сжигания подстилочного помета при термической утилизации. *Вестник ФГОУ ВО МГАУ*. 2015. № 1 (65). С. 25-31.



20. Boltianska N. I. 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.

21. Agblevor F. A., Beis S., Kim S. S., Tarrant R. Biocrude oils from the fast pyrolysis of poultry litter and hardwood. *Waste Manag.* 2010. Vol. 30. P. 298–307.

22. Ng W. C., You S., Ling R., Yew-Hoong Gin K. Co-gasification of woody biomass and chicken manure: syngas production, biochar reutilization, and cost-benefit analysis. *Energy.* 2017. Vol. 139. P. 732-742.

23. Han X. X., Niu M. T., Jiang X. M., Liu J. G. Combustion characteristics of sewage sludge in a fluidized bed. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2012. Vol. 51. P. 10565–10570.

24. Larina O. M., Zaichenko V. M. Energy Production from Chicken Manure by Pyrolysis and Torrefaction. *25th European Biomass Conference and Exhibition. EUBCE-2017/–12-15 June 2017.* P. 1205–1209. DOI: 10.5071/25thEUBCE2017-3AV.3.63.

### **ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМІЧНИХ МЕТОДІВ ПЕРЕРОБКИ ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ**

**Скляр О.Г., Скляр Р.В.**

#### *Анотація*

В статті наведено порівняльну характеристику існуючих термічних методів переробки пташиного посліду та осадів стічних вод. Доведено, що термічні способи переробки мають значні переваги перед іншими способами. Наведено, що всі види термохімічної конверсії пташиного посліду дозволяють знизити його об'єм, при цьому отриманий твердий залишок забруднений важкими металами, рухливість яких мінімальна при використанні піролізу. Отримано, що серед термічних методів перевагу слід віддати газифікації і піролізу, так як в результаті цих процесів відбувається конверсія вихідної речовини в газоподібне і рідке паливо, в той час як при спалюванні основним продуктом є теплова енергія. Переробка вихідної вуглеводневої сировини в газ, який має більш широку сферу застосування в порівнянні з рідкою фракцією, представляється найбільш доцільною, в зв'язку з чим газифікація має незаперечну перевагу, що полягає у високому ступені конверсії вихідної сировини в газ.

**Ключові слова:** термічні методи, пташиний послід, осадки стічних вод, піроліз, газифікація, спалювання, піролізна рідина, газ.

### **СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ПЕРЕРАБОТКИ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА**

**Скляр А.Г., Скляр Р.В.**

#### *Аннотация*

В статье приведена сравнительная характеристика существующих термических методов переработки птичьего помета и осадков сточных вод. Доказано, что термические способы переработки имеют значительные



преимущества перед другими способами. Показано, что все виды термохимической конверсии птичьего помета позволяют снизить его объем, при этом полученный твердый остаток загрязнен тяжелыми металлами, подвижность которых минимальна при использовании пиролиза. Получено, что среди термических методов предпочтение следует отдать газификации и пиролизу, так как в результате этих процессов происходит конверсия исходного вещества в газообразное и жидкое топливо, в то время как при сжигании основным продуктом является тепловая энергия. Переработка исходного углеводородного сырья в газ, который имеет более широкую сферу применения по сравнению с жидкой фракцией, представляется наиболее целесообразной, в связи с чем газификация имеет неоспоримое преимущество, заключающееся в высокой степени конверсии исходного сырья в газ.

**Ключевые слова:** термические методы, птичий помет, осадки сточных вод, пиролиз, газификация, сжигание, пиролизная жидкость, газ.

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THERMAL METHODS FOR PROCESSING BIRD LITTER

Skliar A, Skliar R.

### *Summary*

The article provides a comparative characteristic of existing thermal methods for processing poultry manure and sewage sludge. It has been proved that thermal processing methods have significant advantages over other methods: the volume of processed raw materials decreases several times, heavy metals in the composition of the starting material after thermal processing are mainly localized in the solid residue, almost 100% of all organic matter contained in the raw material is processed completely the pathogenic microflora is destroyed. It has been shown that all types of thermochemical conversion of poultry droppings can reduce its volume, while the resulting solid residue is contaminated with heavy metals, the mobility of which is minimal when pyrolysis is used. Also, the properties of products obtained using thermal methods of processing poultry manure are very similar to the properties of products obtained from sewage sludge. As a special feature, the low melting point of chicken manure ash can be noted. It was found that, among thermal methods, preference should be given to gasification and pyrolysis, since as a result of these processes, the initial substance is converted into gaseous and liquid fuel, while during combustion, the main product is thermal energy. The processing of the initial hydrocarbon feedstock into gas, which has a wider scope of application in comparison with the liquid fraction, seems to be the most expedient, and therefore gasification has an indisputable advantage, consisting in a high degree of conversion of the feedstock into gas. At the same time, the produced gas has a relatively low calorific value, and the process temperature is such that part of the heavy metals contained in the wastewater sludge evaporates into the resulting gas.

**Key words:** thermal methods, bird droppings, sewage sludge, pyrolysis, gasification, combustion, pyrolysis liquid, gas.



УДК 621.373:631.27

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-7

## УДОСКОНАЛЕНИЙ ГЕНЕРАТОР З РЕГУЛЬОВАНОЮ ЕЛЕКТРИЧНОЮ НАПРУГОЮ ІМПУЛЬСУ НА ЛІНІЇ ЕЛЕКТРООГОРОЖІ ДЛЯ ПАСОВИЩНОГО УТРИМАННЯ ОВЕЦЬ

Парієв А. О.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0001-7193-1409

Коротченко Т. М.<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-1660-7187

Болтянський Б. В.<sup>2</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2072-4025

<sup>1</sup>Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва<sup>2</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: imtuaan@ukr.net

*Постановка проблеми.* Перехід на цілорічне промислове маловитратне виробництво м'ясо-молочної продукції тваринництва, зокрема ВРХ і овець, неможливе без організації й впровадження у виробництво малогабаритних пересувних технічних засобів для утримання ВРХ і овець в умовах культурних пасовищ [1-3].

Оскільки спеціалізованого обладнання для таких цілей вітчизняна промисловість не виробляє, то для цього використовується імпортне обладнання, яке має низьку напругу імпульсу (2–3 кВ), що недостатньо для посушливих умов клімату України, велику потужність споживання та велику ціну [4-7].

Відомі схеми генераторів ИЭ-200, ГИЭ-1 мають низьку надійність та застаріли, а імпортні Magnum В1 – не забезпечують необхідних показників для відлякування тварин [8-11].

Розроблення і виробництво електроогорожі для пасовищного утримання худоби та генератора високовольтних імпульсів, який ефективно відлякує тварин від огороженого периметру загону, дозволяє раціонально використовувати травостій при загінній пастьбі та збільшити продуктивність тварин порівняно з вільним випасом без огороження до 300% [12,13].

*Аналіз останніх досліджень.* Експлуатація електроогорожі у виробничих умовах показала, що через необачність обслуговуючого персоналу, порушення правил монтажу, розриву проводів огорожі тваринами, наявність дефектів в ізоляторах або перебоїв в роботі генератора імпульсів, відсутність імпульсів високої напруги електроогорожа перестає ефективно функціонувати і відлякувати тварин [14-17].





Для ефективного відлякування тварин необхідно підвищити напругу імпульсу. Для підвищення економічності генератора необхідно заряджати накопичувальну ємність стабілізованим струмом. Для цього система керування повинна регулювати коефіцієнт заповнення імпульсу по ключу регулятора [18].

*Формулювання цілей статті.* Підвищення ефективності використання зеленого корму пасовищ шляхом застосування технічних засобів з регульованою електричною напругою імпульсу на лінії електроогорожі.

*Основна частина.* Для ефективного та раціонального використання культурних і покращених пасовищ в Запорізькому науково-дослідному центрі механізації тваринництва ННЦ «ІМЕСГ» удосконалено комплекс технічних засобів з регульованою електричною напругою імпульсу на лінії електроогорожі для пасовищного загінної системи утримання овець [19,20].

Для розширення функціональних можливостей огорожі збільшена кількість проводів в лінії до 3–4 рядів замість традиційних 1–2, щоб вівця відразу при дотику отримувала удар через невеликі проміжки між проводами.

З метою зменшення трудомісткості робіт з натягування проводу збільшено число котушок в комплекті, що забезпечує масу котушки разом з проводом 10 кг замість 16,8 кг. При цьому полегшується процес встановлення і змотування проводів.

Особливістю електроогорожі є те, що за рахунок більшої довжини стояка (1200 мм) забезпечується можливість встановлення проводу на висоті до 90 см (при заглибленні на 30 см), що дозволяє використовувати її також для випасу великої рогатої худоби. Ізолятори від стандартної електроогорожі ІЕ-200 дозволяють пересувати їх по всій довжині стояка діаметром 10 мм і розташовувати провід на необхідній висоті: для овець 30–40 і 60–80 см; для великої рогатої худоби 80 – 90 см. Маса одного стояка – 0,86 кг.

Удосконалений генератор високовольтних імпульсів має підвищену напругу імпульсу (5–7 кВ) для посушливих природних умов півдня України без зростання його потужності, що дозволяє пробивати вовну вівці та відлякувати тварин від огорожі [21]. Генератор має значно зменшену потужність споживання за рахунок очікувального режиму і тому значно більший час роботи від акумулятора в автономних умовах на пасовищі – до 170 днів (рис.1, табл.1).

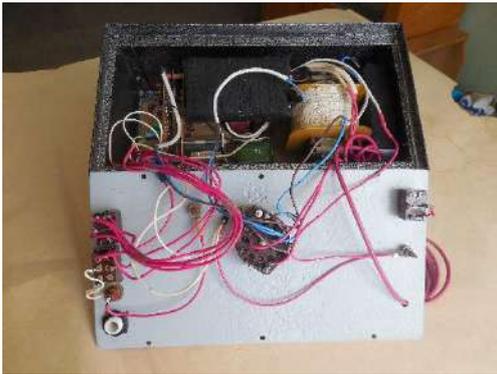


Рис. 1. Зовнішній вигляд удосконаленого генератора імпульсів

Таблиця 1

## Технічна характеристика генератора імпульсів

Найменування	Показники
Джерело живлення	акумулятор 12В 50-60 Агод
Напруга на двопровідній лінії 1000 м, кВ	5/7,2
Частота вихідних імпульсів імп/хв	60
Енергія удару, Дж	0,2/0,5
Час роботи в авторежимі від акумулятора, днів	30
Час роботи в очікувальному режимі, дн.	170
Габаритні розміри, мм	326x175x345
Маса, кг	7

Покращення технічної характеристики генератора досягнуто за рахунок нового принципу роботи обладнання - використання очікуваного режиму роботи, коли імпульс формується при дотику тварини до лінії. Підвищення надійності, економічності та спрощення схеми генератора імпульсів досягається за рахунок розроблення системи керування на основі мікроконтролера AVR ATtiny та заряджанням накопичувальної ємності стабілізованим струмом.

В очікувальному режимі при пастьбі частота формування імпульсів дорівнює частоті дотиків овець до проводів імпульсів.

$$P_{оч} = W_i f_k / \eta,$$

де  $W_i$  – енергія імпульсу;  $\eta$  – ККД генератора;

$f_k$  – частота дотиків тварин до проводів електроогорожі

Тому середня потужність генератора значно менша, ніж в автоколивальному режимі, коли частота генерації імпульсів  $f=1,0$  Гц.

Схема удосконаленого генератора імпульсів (рис.2) містить мікроконтролер U1, перетворювач напруги на транзисторах Q1, Q2, підвищувальному трансформаторі TR1, випрямлячі – мосту BR1; накопичувальний конденсатор C1 уявляє собою складовий

конденсатор з ємностями ( $C1=C_1'+C_2'+C'$ ), тиристор U2, високовольтний імпульсний трансформатор TR2 та вихід, підключений до лінії електроогорожі та через розрядник W1 до землі.

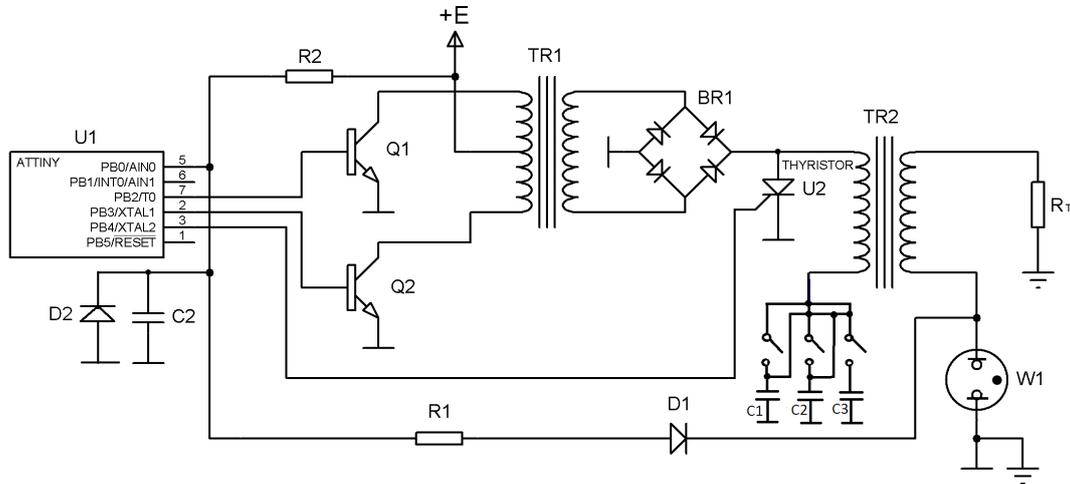


Рис. 2. Схема удосконаленого генератора імпульсів

Удар електричного струму, який отримує тварина при дотику до проводу електроогорожі по своїм параметрам безпечний, але дуже неприємний для тварин. Тому після 2–3 спроб прориву і отриманих ударів вони намагаються не наближатися до проводу. Звичайно при випасанні стада за електроогорожею на протязі 2–3 днів у всіх тварин виробляється захисний рефлекс і вони не проривають лінію огорожі. Кутові пружини значно зменшують кількість розривів проводу за рахунок розтягування. Після привчання тварин до електроогорожі генератор перемикається з автоматичного режиму, коли він безперервно генерує імпульси в очікувальний режим, коли імпульси виробляються лише при дотику тварини до проводу.

Дія електричних імпульсів на тварин не позначається на продуктивності і не викликає негативної дії на приріст ваги тварин.

Найбільш чуттєвий удар тварина отримує від дотику мордою до проводу огорожі. При цьому тварина відскакує від огорожі і через кілька секунд починає знову пастись.

Фізична суттєвість електричного удару полягає в тому, що при дотику або наближенні тіла тварини до проводу, відбувається іскровий розряд електричного струму від генератора через провід, вовну, тіло тварини і землю на заземлювач генератора. Тому напруга імпульсу повинна бути достатньою для пробивання вовняного покриву і для овець становить не менше 5кВ. Енергія удару безпечна для тварин не більше 5Дж, а кількість електрики – 2,5мКл.

Провід електроогорожі повинен розташовуватись на 2/3 висоти тварини від землі. Якщо зміна висоти проводу неефективна, збільшують число рядів проводу. Для овець звичайно застосовують 2



або 3- рядну огорожу з висотою приводів відповідно: 30–40 і 60–80 см та 20, 40, 60–80 см в залежності від розміру тварин. Сильний натяг проводу конче необхідний для кращого контакту з тілом тварин. Тому рекомендується використовувати посилені кутові стояки і прямолінійні сторони пасовищної ділянки, за формою наближеної до прямокутника.

Для переносної електроогорожі в якості проводу використовують оцинкований м'який сталевий дріт діаметром 1,0–1,5 мм, синтетичний струмопровідний шнур діаметром 3–4 мм або стрічку 10–30 мм який більш помітний тваринам. Проводи більшого діаметру 2–3 мм і колючий дріт використовується для огороження постійних ділянок і скотопрогонів, через більшу трудоемність встановлення.

*Висновки.* Удосконалений генератор імпульсів з очікувальним режимом роботи до електроогорожі з системою керування на основі мікроконтролера ATtiny забезпечує підвищену напругу імпульсу, спрощення схеми, підвищення надійності та економічності генератора через заряджання накопичувальної ємності стабілізованим струмом, дозволяє визначити стан опору ізоляції лінії. Система керування регулює коефіцієнт заповнення імпульсу по певному закону.

Впровадження новітніх маловитратних і енергоощадних технологій з використанням створених технічних засобів забезпечить підвищення продуктивності праці до 50%, зниження затрат енергії на 25–40 %; підвищення продуктивності пасовищ на 25–50 %.

Список використаних джерел.

1 Аланбеков А. Электроизгородь как способ повышения эффективности использования пастбищного корма. *Эффективное животноводство*. 2007. № 3

2. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.

3. Boltyanskaya N. I. The dependence of the competitiveness of the pig industry from it-chnology parameters of productivity of the animals. *Bulletin of Kharkov national University-University of agriculture after Petro Vasilenko*. Kharkov. 2017. Vol. 18. 81–89.

4. ГОСТ IEC 60335-2-76-2011 Безопасность бытовых и аналогичных электрических приборов. Часть 2-76. Частные требования к блокам питания электрического ограждения.

5. Skliar A. 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.

6. 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.



7. Довідник зооінженера / М. І. Машкін та ін.; за ред. М. І. Машкіна. Київ: Урожай, 1989. 315 с. URL: <http://skotnyidvor.ru/dovidnyk-zooinzhenera.html> (дата звернення: 21.10.2020).

8. Стандарт EN 55014-1:2006 +A1:2009 +A2:2011, EN 55014-2:1997+A1:2001+A2:2007. URL: <https://shop.bsigroup.com/en/ProductDetail/?pid=000000000030183444> (дата звернення: 18.10.2020).

9. Стандарт EN 60335-2-76:2005+A1:2006 + A11:2008 +A12:2010. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/clc/2df44cf7-da4c-445e-a553-e6a1bea39c0d/en-60335-2-76-2005-a12-2010> (дата звернення: 18.10.2020).

10. Стандарт ІЕС 60335-2-76 пункти 14,16 в 29, EN 60335.2.76. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200109113> (дата звернення: 18.10.2020).

11. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.

12 Патент №38916 Україна, МПК (2009):A01K 3/00 Електрична огорожа для випасання тварин / Ренсевич Є.О., Канищева Л.О. 2с. іл. Опубл. 26.01.2009, бюл. № 2/2009.

13. Boltyanskaya N. I. The system of factors of effective application resurser-Gauci technologies in dairy cattle in the enterprise. *Scientific Bulletin Tauride state agrotechnological University. Electronic scientific specialized edition*. 2016. Vol. 6. pp. 55–64.

14. Ренсевич Є. О. Дослідження електричних характеристик вовняного покриву вівці. *Вівчарство*. 2006. Вип. 33. С. 51–55.

15. Komar A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. *TDATU Scientific Bulletin*. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44–56.

16. Skliar R. 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.

17. Boltyansky B., Boltyansky O., 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. pp. 49–54.

18. Ренсевич Є. О. Порівняння характеристик генератора імпульсів електроогорожі з високовольтним трансформатором і котушкою запалювання. *Механізація і екологізація та конвертація біосировини у тваринництві*. Запоріжжя, 2011. Вип. 1 (7). С. 101–106.



19. Парієв А. О. Ренсевич Є. О. Технічне забезпечення контрольованого утримання великої рогатої худоби та овець на пасовищах. *Аграрна наука – виробництво*. Київ, 2018. № 2. С. 31-32.

20. Ренсевич Є. О. Яковчук В. С. Генератор високовольтних імпульсів електроогорожі з системою керування на основі мікроконтролера. *Науковий вісник «Асканія-Нова»*. 2018. № 11. С. 38–44.

21. Генератор імпульсів для електроогорожі: пат. 124029 Україна: МПК (2017) H03K3/53 / Є. О. Ренсевич; № u 201711429; заявл. 22.11.2017; опубл. 12.03.2018, Бюл. № 5.

22. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*. 2017. P. 155–158.

**УДОСКОНАЛЕНИЙ ГЕНЕРАТОР З РЕГУЛЬОВАНОЮ  
ЕЛЕКТРИЧНОЮ НАПРУГОЮ ІМПУЛЬСУ НА ЛІНІЇ  
ЕЛЕКТРООГОРОЖІ ДЛЯ ПАСОВИЩНОГО УТРИМАННЯ ОВЕЦЬ  
Парієв А. О., Коротченко Т. М., Болтянський Б. В.**

*Анотація*

Розроблення і виробництво електроогорожі для пасовищного утримання худоби та генератора високовольтних імпульсів, який ефективно відлякує тварин від огороженого периметру загону, дозволяє раціонально використовувати травостій при загінній пастьбі та збільшити продуктивність тварин порівняно з вільним випасом без огороження. Новий генератор високовольтних імпульсів має підвищену напругу імпульсу (5–7 кВ) для посушливих природних умов півдня України без зростання його потужності, що дозволяє пробивати вовну вівці та відлякувати тварин від огорожі. Генератор має значно зменшену потужність споживання за рахунок очікувального режиму і тому значно більший час роботи від акумулятора в автономних умовах на пасовищі – до 170 днів проти 30 днів в автоматичному режимі. За допомогою електроогорожі забезпечується механізація процесу випасання ВРХ і овець на пасовищі. Електроогорожа замінює працю пастуха та імпортує устаткування аналогічного призначення. Перспективність технічних засобів обумовлюється раціональним використанням зеленого корму, значним зниженням витрат і підвищенням продуктивності пасовища, забезпеченням тривалої автономної роботи електроогорожі на пасовищі без зв'язку з мережею струму.

**Ключові слова:** вівчарство, пасовища, генератор, електроогорожа, імпульс, напруга

**УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЙ ГЕНЕРАТОР С РЕГУЛИРУЕМЫМ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ НАПРЯЖЕНИЕМ ИМПУЛЬСА НА ЛИНИИ  
ЭЛЕКТРОИЗГОРОДИ ДЛЯ ПАСТБИЩНОГО СОДЕРЖАНИЯ ОВЕЦ  
Париев А.А., Коротченко Т.Н., Болтянский Б. В.**

*Аннотация*

Разработка и производство электроизгороди для пастбищного содержания скота и генератора высоковольтных импульсов, который эффективно отпугивает



животных от огороженного периметра загона, что позволяет рационально использовать травостой при огражденном выпасе и увеличить продуктивность животных по сравнению со свободным выпасом без ограждения. Новый генератор высоковольтных импульсов имеет повышенное напряжение импульса (5–7 кВ) для засушливых природных условий юга Украины без роста его мощности, что позволяет пробивать шерсть овцы и отпугивать животных от ограждения. Генератор имеет значительно уменьшенную мощность потребления за счет выжидающего режима и поэтому значительно большее время работы от аккумулятора в автономных условиях на пастбище – до 170 дней против 30 дней в автоматическом режиме. С помощью электроизгороди обеспечивается механизация процесса выпаса КРС и овец на пастбище. Электроизгородь заменяет труд пастуха и импортное оборудование аналогичного назначения.

Перспективность технических средств определяется рациональным использованием зеленого корма, значительным снижением затрат и повышением производительности пастбища, обеспечением длительной автономной работы электроизгороди на пастбище без связи с сетью тока.

**Ключевые слова:** овцеводство, пастбища, генератор, электроизгородь, импульс, напряжение

## **ADVANCED ADJUSTABLE GENERATOR ELECTRIC PULSE VOLTAGE ON THE LINE ELECTRIC FENCES FOR SHEPHERD**

**Pariev A., Korotchenko T., Boltyansky B.**

### *Summary*

The transition to year-round low-cost industrial production of meat and dairy products, including cattle and sheep, is impossible without the organization and introduction into the production of small mobile technical means for keeping cattle and sheep in cultivated pastures. Since the domestic industry does not produce specialized equipment for such purposes, it uses imported equipment that has a low pulse voltage (2–3 kV), which is not enough for arid climates of Ukraine, high power consumption and high price. Development and production of an electric fence for pasture keeping of cattle and a generator of high-voltage pulses, which effectively scares away animals from the fenced perimeter of the unit, allows rational use of grass during grazing and increase animal productivity compared to free grazing without fencing. The new high-voltage pulse generator has an increased pulse voltage (5–7 kV) for arid natural conditions in the south of Ukraine without increasing its power, which allows you to pierce sheep's wool and scare away animals from the fence. The generator has a significantly reduced power consumption due to standby mode and therefore much longer battery life in autonomous conditions on pasture – up to 170 days against 30 days in automatic mode. By means of an electric fence mechanization of process is provided grazing cattle and sheep on pasture. The electric fence replaces the work of the shepherd and imported equipment for similar purposes. The prospects of technical means are determined by the rational use of green fodder, a significant reduction in costs and increased productivity of the pasture, ensuring long-term autonomous operation of the electric fence on the pasture without connection to the mains.

**Key words:** sheep breeding, pastures, generator, electric fence, impulse, voltage



УДК 631

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-8

## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА У СКЛАДІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Субочев О. І.<sup>1</sup>, к. т. н.

ORCID: 0000-0002-6867-9991

Деркач О. Д.<sup>1</sup>

ORCID: 0000-0002-5537-8022

Каракай А. О.<sup>1</sup>, магістрант<sup>1</sup>Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет

e-mail: subochev.alex@gmail.com

*Постановка проблеми.* Актуальним питанням сьогодення є зменшення витрат на вирощування сільськогосподарської продукції. Зважаючи на той факт, що витрати енергії є найвищими на операціях основного обробітку ґрунту, а під час вирощування окремих культур, таких як соняшник, кукурудза, картопля, цукрові буряки, ріпак та ін., витрати на проведення основного обробітку ґрунту можуть досягати 25...35% загальних енерговитрат на технологію вирощування, проблема енергозбереження стає ще більш гострою. Ще більшої актуальності енергетика процесу глибокого обробітку ґрунту набуває під час впровадження технологій безполицевого розпушування, оскільки ці операції позиціонуються не лише як основи ґрунтозахисного землеробства, а й мають забезпечувати принципи зниження енергоємності процесу [1-4].

Поступовий перехід від технологій класичної полицевої оранки до технологій безполицевого глибокого обробітку є реаліями сьогодення. Впровадження в технологічні процеси вирощування продукції рослинництва на етапах основного обробітку ґрунту процесів глибокого розпушування, дозволяють суттєво скоротити витрати на проведення операцій, зруйнувати ущільнену підорну підшву, цим самим покращити інфільтраційні властивості ґрунтів, скоротити прояви вітрової та водної ерозій, і зрештою, являють основами ґрунтозахисного енергоощадного землеробства [5].

Ще одним фактором, який обмежує використання глибокорозпушувачів є висока вартість закордонних машин та запасних частин до них, що реалізуються на ринку сільськогосподарської техніки, а вітчизняні виробники здебільшого необґрунтовано копіюють будову закордонних аналогів без вдосконалення конструкцій та їх адаптації до ґрунтових умов,





експлуатаційних особливостей енергетичних засобів, специфіки реалізацій технологій глибокого розпушування [6].

Протягом останніх років місцевими виробниками робляться спроби вдосконалити як окремі елементи конструкцій глибокорозпушувачів, так і їх принципових схем і механізмів регулювань загалом, що повинно підвищити загальну ефективність їх використання, спростити та обґрунтувати конструктивно-технологічні параметри і режими роботи та забезпечити комплектування агрегатів із існуючим енергетичними засобами. Для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів проводяться відповідні теоретико експериментальні дослідження, хоча ряд питань залишаються не вивченими. Зокрема, актуальними питаннями залишаються питання взаємозв'язку якості операцій глибокого розпушування із енерговитратами та можливість комплектування ефективного ґрунтообробного агрегату із раціональним набором робочих органів з тракторами різного тягового класу та конструкціями енергетичних засобів [7].

*Аналіз останніх досліджень.* Відомо, що найбільш вагомим фактором, який забезпечує створення оптимальних умов росту і розвитку рослин є механічний обробіток ґрунту. Проте, часті і глибокі обробітки щорічно призводять до втрати органічної речовини від 1 до 2%, яка має важливе значення для формування необхідних фізико-механічних властивостей, структури ґрунту та інших факторів родючості [8].

Механічний обробіток ґрунту являє собою дію на нього робочими органами ґрунтообробних машин і знарядь на відповідну глибину, це один із засобів регулювання водного і повітряного режимів оброблюваного шару. Він, з одного боку, сприяє нагромадженню вологи в ґрунті та зменшення її непродуктивних втрат і створює умови для продуктивного використання рослинами вологи, а з другого - знижує кількість вологи в цьому шарі при надмірному зволоженні. Усунення надлишку вологи сприяє збільшенню загальної аерації і створення оптимального співвідношення води і повітря в ґрунті [9].

Ряд дослідників доводять [10-14], що проведення багатократного механічного обробітку ґрунту, з однієї сторони, дозволяє забезпечити максимальне знищення бур'янів, але з іншої – суттєво погіршує структуру і сприяє загальному ущільненню орного горизонту, що вимагає здійснення додаткових операцій обробітку, а отже, супроводжується збільшенням витрат енергії. В публікації робиться висновок про те, що чим більше ґрунт обробляється, тим більше він потребує обробітку [10]. Тому при виборі виду обробітку ґрунту, типу машини чи знаряддя, конструктивних особливостей робочих органів та



їх поєднань, параметрів налаштувань ґрунтообробних агрегатів і режимів роботи, насамперед необхідно виходити із умов, що забезпечують агрофізичні та інші властивості ґрунтів.

У боротьбі з ерозією велика роль належить правильному обробітку ґрунту, який запобігає та істотно знижує їх руйнівну силу. Крім того, у півтора-два рази збільшуються витрати на обробіток переуцільненого ґрунту. Плужна підшва затрудняє утворення та проникнення коріння у більш глибокі шари ґрунту, різко порушується водний режим. Рослини, які вирощуються на ґрунтах з плужною підшвою, навіть у вологі роки знаходяться в умовах посухи [15, 16].

На практиці прийнято затрати енергії на обробіток ґрунту оцінювати дійсними витратами пального. Крім того, відомо, що витрати пального на обробіток ґрунту суттєво залежать не лише від конструктивних особливостей робочих органів і знярядь ґрунтообробних машин та їх компоновки у агрегати, але і від типу та фізико-механічних властивостей ґрунтів, що підлягають обробці [17, 18, 19].

*Формулювання цілей статті.* Дослідження впливу конструктивно-технологічних параметрів робочих органів просапного культиватора на тяговий опір і оцінка витрат пального залежно від компоновки агрегату та набору робочих органів під час роботи комбінованих просапних агрегатів елементів, які деформують ґрунт, переважно у горизонтальній площині. Оцінка енергоємності обробітку ґрунту комбінованими просапними культиваторами, шляхом аналітичного дослідження силової взаємодії запропонованого зняряддя і практичного аналізу витрат пального в залежності від компоновки агрегату та набору робочих органів [20].

*Основна частина. Розробка моделі динамічної взаємодії просапного культиватора з опорною поверхнею.*

При побудові схеми просапної культиватора необхідно враховувати наступні вимоги: конструкція культиватора повинна забезпечувати пристосовність робочих органів до мікрорельєфу поля; конструкція культиватора повинна передбачати пристрої: для регулювання глибини ходу кожного робочого органу; для зміни кута установки до горизонтальної площини кожної секції, а також кута установки до горизонтальної площини кожного робочого органу; культиватор повинен мати механізми, які забезпечували б плавне або ступінчасте регулювання глибини ходу робочих органів (ступінчастість повинна бути не більше ніж через 20 мм); ходові колеса слід розташовувати попереду робочих органів, щоб сліди їх були оброблені.

Найбільше цим вимогам відповідає схема побудови просапного культиватора з використанням окремих секцій, які закріплені на раму

культиватора за допомогою скоб, а розподіл навантаження відбувається за рахунок впровадження в конструкцію чотирьохланкового паралелограмного механізму.

Секція культиватора просапного складається з таких вузлів (рис. 1): паралелограм, рама, опорне колесо, стійка, лапа.



Рис. 1. Конструкція секції просапного культиватора

Динамічний аналіз складається з визначення впливу зовнішніх сил, сил ваги конструкції, сил тертя та масових сил (сил інерції) на ланки механізму, на елементи ланок, на кінематичні пари та нерухомі опори та встановлення способів зменшення динамічних навантажень, що виникають при русі механізму, режиму руху механізму під дією заданих сил та встановлення способів, що забезпечують задані режими руху механізму.

В динамічний аналіз механізмів включається задачі теорії коливань в механізмах, про співударяння ланок механізмів теорії пружності, теорії і машин механізмів.

Розв'язання задачі розрахунку терміну служби підшипнику потребує дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Треба проаналізувати роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

В основі динаміки абсолютного руху матеріальної точки знаходяться перший та другий закони Ньютона. Точка  $M$  здійснює обертальний рух: абсолютний рух цієї точки відносно деякого центру нерухомої системи координат  $O$ , відносний рух відносно рухомої системи координат  $O_{xyz}$ .

Рівняння руху невільної матеріальної точки:

$$m\vec{W}_a = \vec{F} + \vec{R}, \quad (1)$$

де  $m$  - маса матеріальної точки  $M$  опорного колеса, кг;  
 $\vec{W}_a$  - прискорення маса матеріальної точки  $M$  опорному колесі, м/с<sup>2</sup>;  
 $\vec{F}$  - сумарна сила, що враховує всі сили, які діють на опорне колесо при роботі культиватора, Н;  
 $\vec{R}$  - реакція, яка замінює в'язі невільної матеріальної точки  $M$ , що обмежує її рух у просторі, Н.

Рівняння відносного руху:

$$m\vec{W}_z = \vec{F} + (-m\vec{W}_x) + (-m\vec{W}_y) + \vec{R}, \quad (2)$$

де  $\vec{W}_z$  - прискорення матеріальної точки  $M$  відносно вісі  $z$ ;  
 $\vec{W}_x$  - прискорення матеріальної точки  $M$  відносно вісі  $x$ ;  
 $\vec{W}_y$  - прискорення матеріальної точки  $M$  відносно вісі  $y$ .

З рівнянь (1, 2) випливає, що для складання рівняння руху матеріальної точки треба визначення активних сил і реакцій.

Сили, що діють на колесо просапного культиватора при обертальному русі при обмеженні глибини наведено на рис. 2.

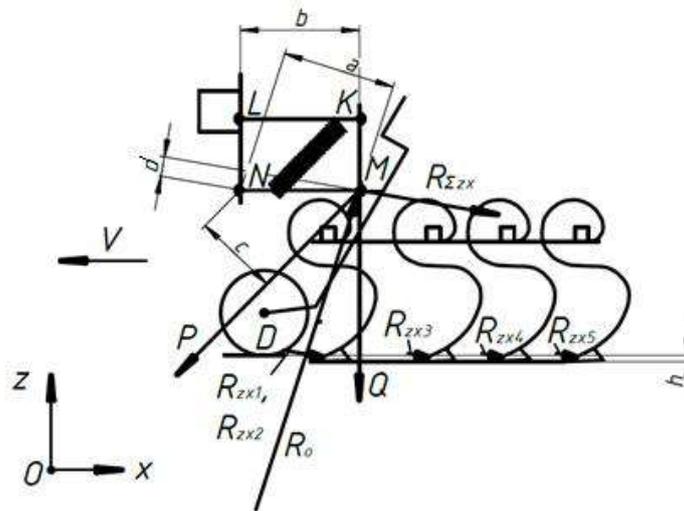


Рис. 2. Схема дії сил на секцію просапного культиватора при обмеженні глибини обробки і швидкості руху

Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо. За рахунок цього збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя. Ця сила навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації.

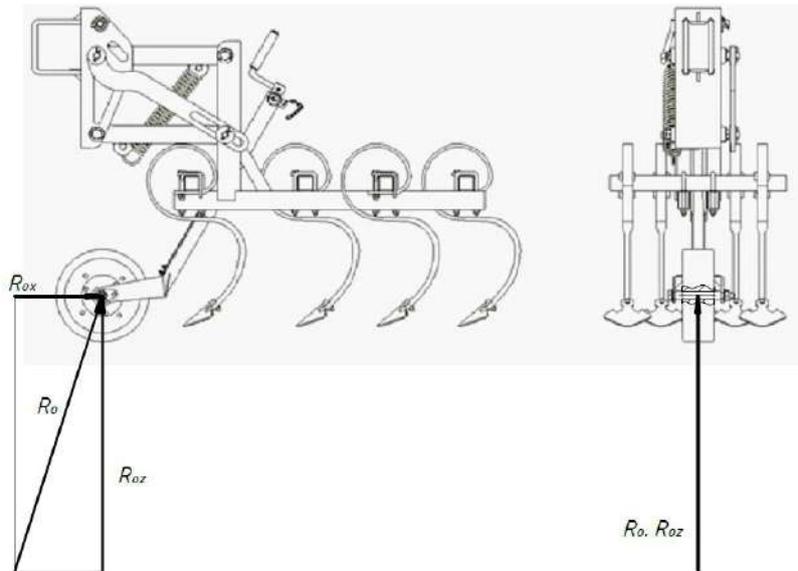


Рис. 3. Графічна дія вертикальної і горизонтальної складових навантаження на опорні колеса

Рівноваги системи будується за формулою

$$R_0 \cdot a - R_{\Sigma zx} \cdot d - Q \cdot b - P \cdot c = 0, \quad (3)$$

де  $R_0$  - навантаження на опорні колеса (рис.3), Н;

$R_{\Sigma zx}$  - сила опору ґрунту, Н;

$Q$  - вага системи, Н;

$P$  - зусилля пружини, Н;

$a, b, c, d$  - плечі сил,  $R_0, Q, P, R_{\Sigma zx}$  відповідно, відносно центра обертання системи, м.

Визначення навантаження на опорні колеса при роботі культиватора наведено у вигляді паралелограма сил (рис. 4).

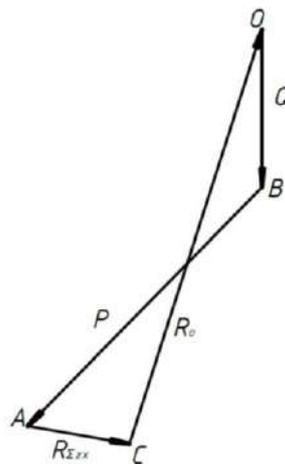


Рис. 4. Графічне визначення навантаження на опорні колеса

Горизонтальна складова сили опору ґрунту визначається за формулою (рис. 5):

$$R_x = R_{zx} \cdot \cos \psi, \quad (4)$$

де  $R_{zx}$  - сила опору ґрунту;  
 $\psi$  - кут нахилу реакції ґрунту.

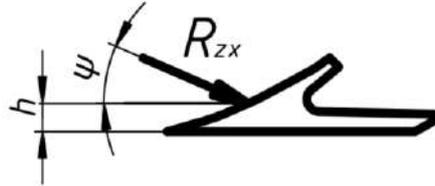


Рис. 5. Дія сила опору ґрунту на універсальну стрілочасту лапу

При розрахунках стрілочастих лап з кутом кришіння  $\beta = 15-30^\circ$ , що працюють на парових та просапних культиваторах, кут  $\psi$  приймається рівним  $18-24^\circ$ . Нижнє значення кута  $\psi$  відповідає глибині обробки ґрунту  $h_{обр} \leq 8$  см, та меншому значенню кута  $\beta$ , верхня границя - глибині  $h_{обр} = 10-12$  см, та більшому значенню кута  $\beta$ .

Питомий опір ґрунту визначається за формулою:

$$q = \frac{R_x}{b_l}, \quad (5)$$

де  $b_l$  - ширина захвату лапи, см.

Горизонтальна складову сили опору ґрунту визначається за формулою:

$$R_x = b_l \cdot q. \quad (6)$$

Залежність сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора наведено на рис. 6.

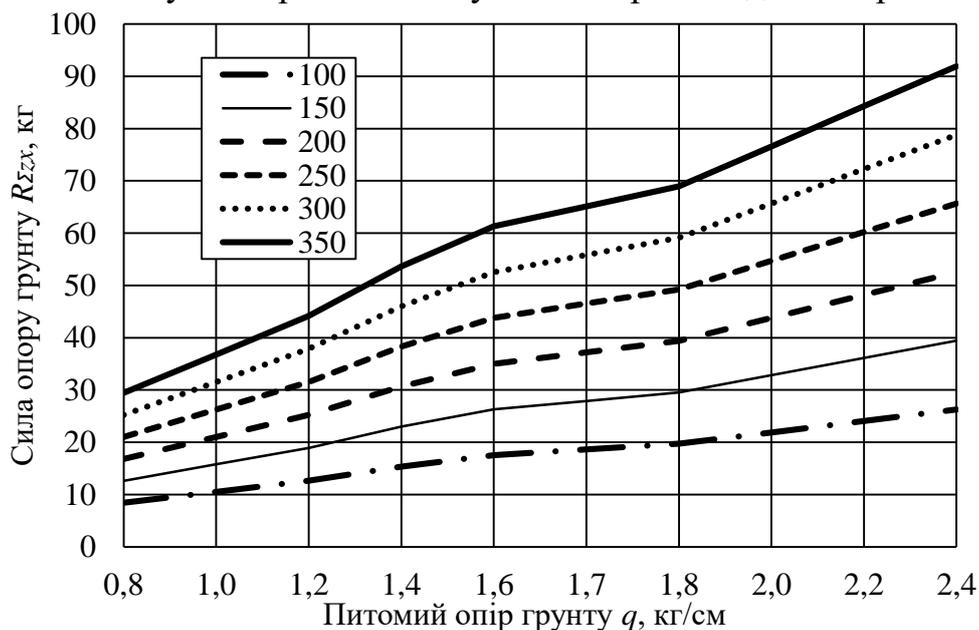


Рис. 6. Залежність сили опору обробки від питомого опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора

Підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора пояснюється тим, що чим більше питомий опір ґрунту і чим більше ширина захвату лап тим більше зусилля на тяговому органі просапного культиватора.

Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при різних глибинах обробки наведено на рис 7.

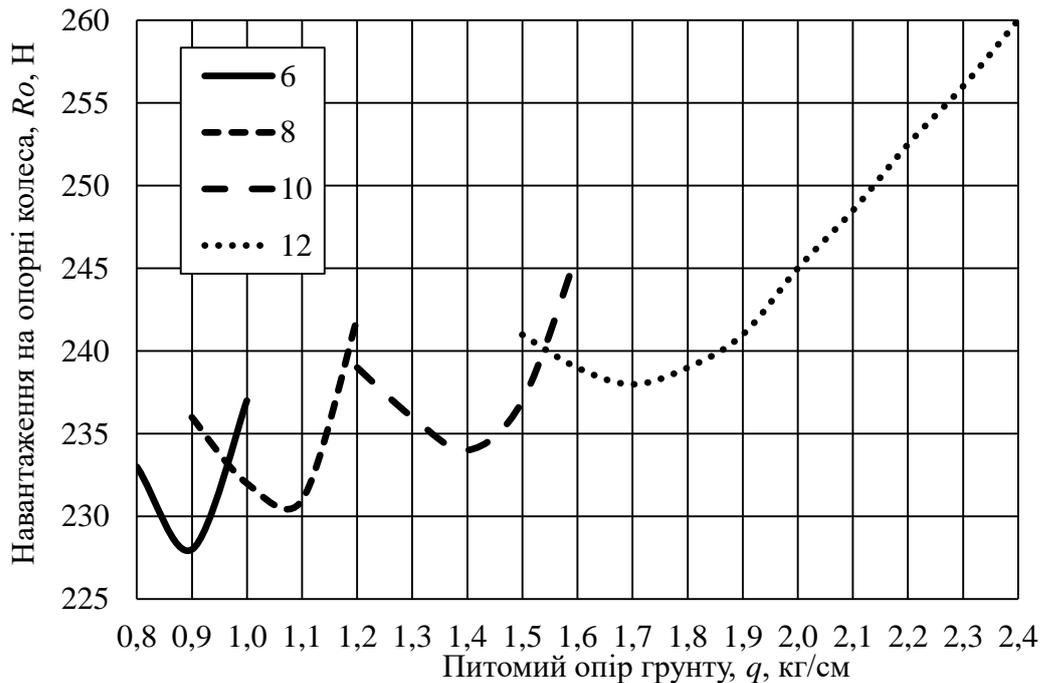


Рис. 7. Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при різних глибинах обробки

З рис. 6 видно, що при звеличенні питомого опору ґрунту і глибини обробки буде підвищуватись навантаження на опорні колеса. Залежність навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибин обробки має нерівномірний характер: на початку зменшується до деякого мінімуму, а потім звеличується.

*Висновки.* Розв'язано задачі розрахунку терміну служби підшипнику, проведено дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо, за рахунок чого збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя, навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації. Проаналізовано роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

Обґрунтовано підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора. Виявлено



нерівномірний характер залежності навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибин обробки.

Список використаних джерел

1. Лещенко С. В., Сало В. М., Васильковський А. М. Состояние вопроса и перспектива интенсификации работы чизельных орудий с целью сохранения естественного плодородия. *MOTROL. Commission of motorization and energetics in agriculture. An international journal on operation of farm and agri-food industry machinery*. 2014. Vol. 16, № 2. P. 195–201.

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

3. Лещенко С. М., Сало В. М., Петренко Д. І. Оцінка енергоємності глибокого обробітку ґрунту комбінованими чизельними глибокорозпушувачами. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Сер. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. Вип. 31. С. 10–20.

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

5. Skliar R. 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.

6. Vasytkovska K. V., Leshchenko S. M., Vasytkovskyi O. M., Petrenko D. I. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting // *INMATEH-Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 50, № 3. P.13-20.

7. Leschenko S., Petrenko D., Salo V. Experimental estimate of the efficiency of basic tilling by chisel equipment in the conditions of soil. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград, 2014. Вип. 44. С. 237-243.

8. Лещенко С. М., Сало В. М. Шляхи підвищення ефективності роботи комбінованих чизельних ґрунтообробних знарядь з додатковими деформаторами. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Глеваха, 2016. Вип. 4 (103). С. 31-37.

9. Сало В. М., Богатирьов Д. В., Лещенко С. М., Савицький М. І. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. *Техніка і технології АПК*. 2014. № 10 (61). С. 16-19.





10. Zabolotko O. O. Performance indicators of farm equipment. *Kramar Readings: Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference*. 2017. P. 155–158.
11. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив: навчальний посібник / В. М. Сало та ін. Харків, 2016. 244 с.
12. Сало В. М., Богатирьов Д. В., Лещенко С. М., Савицький М. І. Вітчизняне технічне забезпечення сучасних процесів у рослинництві. *Техніка і технології АПК*, 2014. № 10 (61) С. 16-19.
13. Панов И. М., Ветохин В. И. Физические основы механики почв: Монография. К.: Феникс, 2008. 266 с.
14. Сало В. М., Лещенко С. М., Пашинський В. А., Ярових Р. В. Аналіз процесів чизелювання ґрунтів з застосуванням різних комбінацій робочих органів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Кіровоград, 2015. Вип. 45, Ч.1 С. 126-132.
15. Kyurchev S., Kolodiy A. Analysis of existing methods and means for the separation of seeds. *Motrol. Commission of motorization and energetic in agriculture*. 2013. Vol. 15, №2. P. 197-204.
16. Dudarev I., Kirchuk R. Simulation of bulk materials separation process in spiral separator. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2017. Vol. 53, no. 3. pp. 57-64.
17. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»* 2017. P. 155–158.
18. Skliar A. 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.
19. Лузан П. Г, Лузан О. Р., Петренко Д. І. Обґрунтування параметрів решета для сепарації зерна. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. пр. Кіровогр. нац. техн. ун-ту*. 2016. Вип. 29. С. 46-53.
20. Лещенко С. М., Сало В. М. Обґрунтування доцільності проведення глибокого чизельного рихлення на переущільнених та ерозійно-небезпечних ґрунтах. *Збірник наукових праць Кіровоградського національного технічного університету. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. Кіровоград: КНТУ, 2015 р. Вип. 28. С. 181-186.



## ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСАПНОГО КУЛЬТИВАТОРА У СКЛАДІ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ

Субочев О.И., Деркач О.Д., Каракай А.О.

### *Анотація*

Проведено теоретико-експериментальні дослідження для комплексної оцінки якісних показників роботи, витрат енергії, ефективного агрегування, пошуку раціональних конструкцій та набору робочих органів.

Розв'язано задачі розрахунку терміну служби підшипнику, проведено дослідження та визначення параметрів руху колеса відносно центра в рухомій системі координат. Для забезпечення постійності глибини ходу в конструкції секції просапного культиватора передбачене опорне колесо, за рахунок чого збільшується тяговий опір агрегату на величину сили тертя, навантажує підшипникові вузли, що впливає на термін їх експлуатації. Проаналізовано роботу опорного колеса культиватора керуючись основними законами динаміки абсолютного руху.

Обґрунтовано підвищення сили опору обробки від опору ґрунту при різних ширинах захвату лап просапного культиватора. Виявлено нерівномірний характер залежності навантаження на опорні колеса від питомого опору ґрунту при кожній глибин обробки.

**Ключові слова:** просапний культиватор ТОВ «Avers-Agro», динамічний аналіз, сили опору обробки

## ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОПАШНОГО КУЛЬТИВАТОРА В СОСТАВЕ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА

Субочев О.И., Деркач А.Д., Каракай А.А.

### *Аннотация*

Проведен теоретико-экспериментальные исследования для комплексной оценки качественных показателей работы, затрат энергии, эффективного агрегатирования, поиска рациональных конструкций и набора рабочих органов.

Решены задачи расчета срока службы подшипника, проведены исследования и определения параметров движения колеса относительно центра в подвижной системе координат. Для обеспечения постоянства глубины хода в конструкции секции пропашные культиваторы предусмотрено опорное колесо, за счет чего увеличивается тяговое сопротивление агрегата на величину силы трения, нагружает подшипниковые узлы, влияет на срок их эксплуатации. Проанализирована работа опорного колеса культиватора руководствуясь основными законами динамики абсолютного движения.

Обоснованно повышение силы сопротивления обработки от сопротивления почвы при различных ширины захвата лап пропашного культиватора. Выведено неравномерный характер зависимости нагрузки на опорные колеса от удельного сопротивления ґрунта при каждой глубине обработки.

**Ключевые слова:** пропашной культиватор ООО «Avers-Agro», динамический анализ, силы сопротивления обработки



## JUSTIFICATION OF CONSTRUCTIVE AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF ROW CULTIVATOR IN THE MACHINE-TRACTOR AGGREGATE

Subochev O.I., Derkach O.D., Karakay A.O.

### Summary

Improving the operation of the cultivator by the number and composition of legs and durability of bearings performed in LLC «Avers-Agro», which allows adaptation to the soil conditions, operational characteristics of energy, specific of the loosening implementation technologies.

Theoretical and experimental researches for a complex estimation of qualitative indicators of work, expenses of energy, effective aggregation, search of rational designs and a set of working bodies are carried out.

A model of dynamic interaction of a cultivator with a supporting surface was developed. When constructing a cultivator scheme, the following requirements are taken into account: the cultivator design must ensure the adaptability of the working bodies to the microrelief of the field.

The design of the cultivator provides devices: for adjusting the depth of each working body; to change the installation angle to the horizontal plane of each section, the installation angle to the horizontal plane of each working body.

The cultivator is equipped with mechanisms that provide smooth or stepwise adjustment of the depth of the working bodies; the running wheels are located in front of the working bodies so that their traces are processed.

Dynamic analysis consists of determining the influence of external forces, gravity, friction and inertia forces acting on the links of the mechanism, the elements of the links, the kinematic pairs and fixed supports and identifying ways to reduce dynamic loads arising from the movement of the mechanism, mode of movement of the mechanism under the action of the set forces and establishment of the ways providing the set modes of movement of the mechanism.

The dynamic analysis of mechanisms includes problem tasks of the theory of oscillations in mechanisms, about collision of mechanisms links of the elasticity theory, the theory and machines of mechanisms.

The tasks of calculating the service life of the bearing are solved, research and determination of the parameters of wheel movement relative to the center in the moving coordinate system are carried out. To ensure the consistency of the depth of travel in the design of the section of the cultivator provided a support wheel, which increases the traction resistance of the unit by the amount of friction, loads the bearing units, which affect their service life. The operation of the cultivator support wheel is analyzed according to the basic laws of absolute motion dynamics.

The increase of tillage resistance from soil resistance at different widths of cultivator paws is substantiated. The non-uniform character of the dependence of the load on the support wheels on the specific resistance of the soil at each depth of cultivation is revealed.

**Key words:** row cultivator LLC «Avers-Agro», dynamic analysis, tillage resistance forces



УДК. 631.3.004:621.892

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-9

## ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНОГО НАСОСА ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛЬНИХ

Журавель Д. П., д. т. н.

ORCID: 0000-0002-6100-895X

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного*e-mail: [dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua](mailto:dmytro.zhuravel@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* У зв'язку з прискореним розвитком сучасної техніки вкрай актуальною стала задача підвищення надійності машин, які працюють в умовах великих навантажень, температур, в різних агресивних середовищах. Вирішення зазначеного завдання ускладнюється тим, що воно є багатограним і відображає специфіку всіх фаз існування машин від стадії проектування до стадії експлуатації [1,2]. Задоволення зростаючої потреби в дизельному пальному на сучасному етапі розвитку автотракторної техніки може бути досягнуто залученням до балансу альтернативних палив, отриманих на основі рослинних олій і їх похідних. Застосування їх в дизелях сільськогосподарських тракторів дозволяє: знизити споживання дизельного пального при значному зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище; використовувати сучасний і перспективний парк машин без істотних конструктивних змін; закласти основу створення енергоавтономного сільськогосподарського виробництва [2-7].

*Аналіз останніх досліджень.* Обмежений обсяг і суперечливі результати досліджень в області заміни нафтових палив на біологічні, не дозволяють однозначно судити про вплив біопаливної композиції на енергетичні, паливно-економічні, екологічні та інші показники, що формують технічний рівень сільськогосподарських тракторів [8-14]. Тому розробка науково обґрунтованої технології застосування метилових ефірів ріпакової олії в якості основи біопаливної композиції для підвищення технічного рівня сільськогосподарських тракторів представляє перспективний напрямок економії паливно-енергетичних ресурсів і набуває в даний час особливої актуальності [15-21]. Актуальність полягає і в тому, що необхідно провести оціночні дослідження надійності функціональних систем сільськогосподарської техніки при експлуатації на мінеральних і біологічних паливах.



*Формулювання цілей статті.* Метою статті є оцінка надійності паливного насоса високого тиску дизельного двигуна при експлуатації на різних видах паливних для підвищення ефективності використання сільськогосподарської техніки.

*Основна частина.* Для знаходження ймовірностей безвідмовної роботи при напрацюванні  $\Delta t$  використовуємо рівність [1,8]:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(\Delta t)}{N_0} \quad (1)$$

где  $N_0$  – загальне число випробовуваних однотипних об'єктів (невідновлюваних або відновлюваних);

$n(\Delta t)$  – число блоків, які відмовили.

Якщо при напрацюванні  $\Delta t$  не відмовив жоден з об'єктів, то для орієнтовного визначення  $p(\Delta t)$  справедливо наступне співвідношення:

$$p(\Delta t) = 1 - \frac{1}{N_0 + 1} \quad (2)$$

Ймовірність відмови є подія, протилежна ймовірності безвідмовної роботи:

$$q(\Delta t) = 1 - p(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0} \quad (3)$$

Графіки зміни функцій  $p(t)$  і  $q(t)$  за цикл експлуатації технічного об'єкта наведені на рис.1.

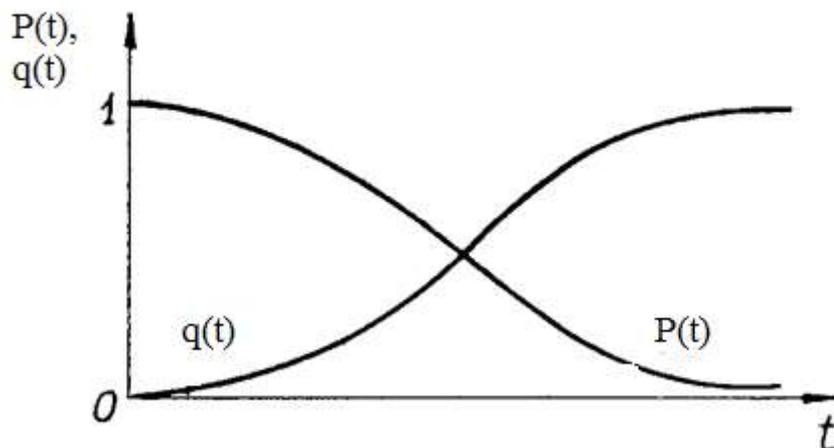


Рис. 1. Взаємне розташування графіків ймовірності безвідмовної роботи  $p(t)$  та ймовірності відмов  $q(t)$  [1]



Вираз для інтенсивності відмов має такий вигляд:

$$\lambda(\Delta t) = \frac{n(\Delta t)}{N_{cp} \cdot \Delta t} \quad (4)$$

де  $N_{cp} = (N_i + N_{i+1})/2$ ;  $N_i$  і  $N_{i+1}$  – відповідно число невідновлювальних об'єктів, які справно працювали на початку і в кінці інтервалу напрацювання  $\Delta t$ .

Середнє напрацювання до відмови знаходимо за формулою:

$$T_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad (5)$$

де  $t_i$  - напрацювання до відмови  $i$ -го невідновлюваного об'єкта.

Середнє напрацювання на відмову визначаємо з рівності:

$$t_{cp} = \frac{1}{N^*} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*, \quad (6)$$

де  $\sum_{i=1}^{N_0} t_{ni}^*$  – сумарне напрацювання  $N_0$  відновлюваних об'єктів в період проведення запланованих випробувань;

$N^*$  – загальне число відмов всіх об'єктів в період випробування, включаючи відмови після відновлення.

Графік функції інтенсивності відмов  $\lambda(t)$  а цикл експлуатації однотипних об'єктів наведено на рис.2.

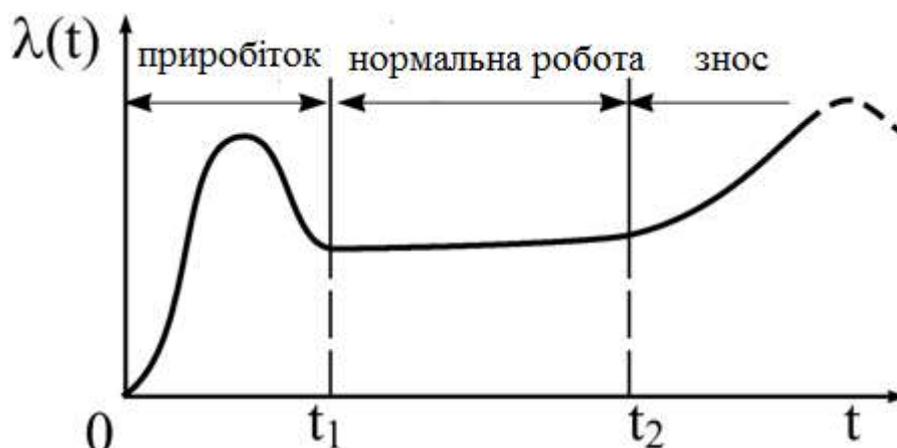


Рис. 2. Зміна інтенсивності відмов у часі [1]

Обчислення середнього часу відновлення проводимо за співвідношенням:



$$t_B = \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{mi}^*, \quad (7)$$

де  $\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*$  – сумарний час відновлення  $N_0$  об'єктів при випробуваннях;

$\sum_{i=1}^{N_0} t_{mi}^*$  – загальне число відновлень (можна прийняти  $\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* = N^*$ ).

Для знаходження коефіцієнта готовності використовуємо таку залежність:

$$K_{\Gamma} = \sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* / (\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*). \quad (8)$$

где  $\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*$  – сумарне напрацювання;

$\sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*$  – сумарний час простоїв спостережуваних об'єктів на технічне обслуговування в період випробувань.

Коефіцієнт технічного використання визначаємо за формулою:

$$K_{TB} = \sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* / (\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*), \quad (9)$$

Зв'язок між двома комплексними показниками за один і той же період випробувань (спостережень) з урахуванням залежностей (8) і (9) можна встановити наступним чином:

$$\begin{aligned} K_{TB} &= \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*} = \\ &= \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*} = \\ &= \frac{1}{1 + \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^* + \sum_{i=1}^{N_0} t_{pi}^*} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}} = \\ &= \frac{K_{\Gamma}}{1 + K_{\Gamma} \frac{\sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^*}{\sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*}} = K_{\Gamma} / (1 + \varphi K_{\Gamma}). \quad (10) \end{aligned}$$

Параметр  $\varphi = \sum_{i=1}^{N_0} t_{Bi}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{hi}^*$  – цілком конкретна величина, що показує частку часу перебування спостережуваних



об'єктів в поточному ремонті по відношенню до часу перебування тих же об'єктів в працездатному стані.

У процесі збору інформації в господарських умовах використовували такі плани спостережень як NUN, NUT і NRT відповідно до вимог ГОСТ 17510.

Під спостереженням перебувало 16 паливних насосів високого тиску (ПНВТ) тракторів МТЗ-80 і спостереження проводили протягом 1200 мото-годин (м.г.), що відповідає середньорічному напрацюванню, при експлуатації на мінеральному і біологічному паливних.

При роботі на мінеральному пальному за час випробувань з 16 одиниць техніки у 4 виходив з ладу ПНВТ з подальшим ТО або ремонтом.

При роботі на біопальному за час випробувань з 16 одиниць техніки у 13 виходив з ладу ПНВТ з подальшим ТО або ремонтом.

За формулою (1) розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи техніки працює на мінеральному пальному:

$$P_{\text{мін}}(t) = \frac{16-4}{16} = 0,75.$$

За формулою (1) розраховуємо ймовірність безвідмовної роботи техніки, яка працює на біопальному:

$$P_{\text{біо}}(t) = \frac{16-13}{16} = 0,188.$$

Звідси по формулі (3) розраховуємо ймовірність відмови ПНВТ випробовуваної техніки для різних видів паливних:

$$q_{\text{мін}}(\Delta t) = 1 - 0,75 = 0,25 \text{ - для мінерального тпального;}$$
$$q_{\text{біо}}(\Delta t) = 1 - 0,188 = 0,812 \text{ - для біопального.}$$

Розраховуємо ще один важливий параметр, інтенсивність відмов на різних видах паливних за формулою (4):

$$\lambda_{\text{мін}}(\Delta t) = \frac{4}{14 \cdot 1200} = 2,38 \cdot 10^{-4}.$$
$$\lambda_{\text{біо}}(\Delta t) = \frac{13}{9,5 \cdot 1200} = 1,14 \cdot 10^{-3}.$$

Зробимо розрахунок середнього напрацювання до відмови за формулою (5):





$$T_{cp} = \frac{1}{N_0} \sum_{i=1}^{N_0} t_i, \quad T_{cp \text{ мін}} = \frac{1}{16} (920 + 940 + 810 + 960) = 226,88 \text{ м.г.}$$

$$T_{cp \text{ біо}} = \frac{1}{16} (770 + 540 + 110 + 660 + 290 + 680 + 690 + 590 + 890 + 740 + 970 + 650 + 520) = 505,25 \text{ м.г.}$$

За формулою (6) розраховували середнє напрацювання на період проведення випробувань, з урахуванням витрат на технічне обслуговування (ТО) - 7% і на ремонт - 20% [1]:

$$t_{cp \text{ мін}} = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^* = \frac{1}{4} (13392 + 3504) = 4224 \text{ м.г.}$$

$$t_{cp \text{ біо}} = \frac{1}{13} \sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^* = \frac{1}{13} (3348 + 11388) = 1133,5 \text{ м.ч.}$$

Для обчислення коефіцієнта готовності скористаємося формулою (8), в якій  $\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні}^*$  — при роботі на мінеральному пальному буде дорівнювати сумарній кількості відпрацьованих мотто-годин для 16 одиниць техніки з вирахуванням часу на проведення ТО, ремонтних і відновлювальних робіт несправних елементів ПНВТ паливної системи, тобто мінус 7% часу на ТО для всіх 16 одиниць і 20% на ремонт для 4 одиниць.

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні \text{ мін}}^* = ((12 \cdot 1200) - 1008) + ((4 \cdot 1200) - (336 + 960)) = 16896 \text{ м.г.}$$

Аналогічно розраховуємо сумарне напрацювання  $N_0$  відновлюваних об'єктів в період проведення запланованих випробувань і для роботи техніки на біопальному:

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ні \text{ біо}}^* = ((3 \cdot 1200) - 252) + ((13 \cdot 1200) - (3120 + 1092)) = 14736 \text{ м.г.}$$

Час витрачений на проведення ТО як для техніки, яка працювала на мінеральному пальному, так і для техніки, яка працювала на біопальному буде однаковим і дорівнює 1344 години.

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ві \text{ мін}}^* = 1344 \text{ год.}$$

$$\sum_{i=1}^{N_0} t_{ві \text{ біо}}^* = 1344 \text{ год.}$$

Для розрахунку коефіцієнта готовності необхідно враховувати як час витрачений на ТО, так і час витрачений на ремонт і відновлення вузлів ПНВТ паливної системи, які вийшли з ладу, при випробуванні техніки (тобто повний час простою).



$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{пі мин}}^* &= 1344 + 960 = 2304 \text{ год,} \\ \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{пі мин}}^* &= 1344 + 3120 = 4464 \text{ год.}\end{aligned}$$

Підставляючи отримані дані для техніки, ПНВТ якої працював на мінеральному пальному, в формулу (8) отримаємо коефіцієнт готовності:

$$K_{\text{Г мин}} = \frac{16896}{16896 + 1344} = 0,93.$$

Коефіцієнт готовності для техніки, ПНВТ якої працювала на біопальному дорівнює:

$$K_{\text{Г біо}} = \frac{14736}{14736 + 4464} = 0,77.$$

Для обчислення коефіцієнта технічного використання необхідно обчислити параметр  $\varphi$ , який показує частку часу перебування спостережуваних об'єктів в поточному ремонті по відношенню до часу перебування тих же об'єктів в працездатному стані:

$$\varphi = \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{ві}}^* / \sum_{i=1}^{N_0} t_{\text{ні}}^*, \quad (11)$$

$$\begin{aligned}\varphi_{\text{мін}} &= 2304 / 16896 = 0,136, \\ \varphi_{\text{біо}} &= 4464 / 14736 = 0,303.\end{aligned}$$

Тепер за формулою (10) розраховуємо коефіцієнт технічного використання для досліджуваної техніки при експлуатації на різних видах паливних:

$$\begin{aligned}K_{\text{ТВ мин}} &= 0,93(1 + 0,136 \cdot 0,93) = 0,826. \\ K_{\text{ТВ біо}} &= 0,77(1 + 0,303 \cdot 0,77) = 0,624.\end{aligned}$$

*Висновок:* Таким чином, використовуючи отримані залежності можна оцінити ступінь впливу різних видів паливних на надійність ПНВТ паливної системи дизельного двигуна використовуючи узагальнені показники надійності трактора в цілому, тобто коефіцієнти готовності і технічного використання. Аналіз запропонованої імовірнісної моделі надійності складної технічної системи дозволив виявити «слабку ланку» ПНВТ, які працювали на біопальних. Так, «слабкою ланкою» з точки зору надійності є ущільнення, середній ресурс яких становить 960 м.г., що в 4 рази



менше в порівнянні з паливними системами, які працюють на мінеральному дизельному пальному. Заміна інертних матеріалів ущільнень до агресивного середовища біопального дозволить підвищити надійність ПНВТ і трактора в цілому.

#### Список використаних джерел

1. Сухарев Э. А. Эксплуатационная надежность машин. Теория, методология, моделирование: учебное пособие. Ровно: НУВХП, 2006, 192 с.
2. Войтов В. А., Даценко М. С., Карнаух М. В. Особенности эксплуатации паливной аппаратуры дизелей сельского хозяйства с использованием биологического топлива. *Техніка і технології АПК*. 2010. № 1. С. 13-18.
3. Девянин С. Н., Марков В. А., Семенов В. Г. Растительные масла и топлива на их основе для дизельных двигателей. Москва: МГАУ, 2007. 340 с.
4. Журавель Д. П. Вплив технічного обслуговування і ремонту на надійність машин та обладнання при використанні біологічних рідин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI:10.31388/2220-8674-2020-1-3.
5. Журавель Д. П. Підвищення довговічності функціональних систем сільськогосподарської техніки при використанні біопаливно-мастильних матеріалів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. Київ, 2018. Вип. 282. С. 279-292.
6. Журавель Д. П. Моделювання процесу зношування прецизійних пар паливних систем мобільної техніки при експлуатації на біодизелі. *Праці ТДАТУ*. Вип. 18, т. 2. Мелітополь, 2018. С. 105-118.
7. Журавель Д.П. Підвищення ефективності використання мобільної сільськогосподарської техніки шляхом забезпечення оптимального складу сумішевих біодизельних палив. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2018. Вип. 8, т. 2. С. 91-107.
8. Молодик М. В. Наукові основи системи технічного обслуговування і ремонту машин в сільському господарстві. Кіровоград: КОД, 2009. 180 с.
9. Tziourtzioumis D., Demetriades L., Zogou O., Stamatelos A. M. Experimental investigation of the effect of a B70 biodiesel blend on a common-rail passenger car diesel engine. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering*. 2009.



Vol. 223, № 5. P. 685–701. DOI: 10.1243/09544070jauto1094.

10. Lin B.-F., Huang J.-H., Huang D.-Y. Experimental study of the effects of vegetable oil methyl ester on DI diesel engine performance characteristics and pollutant emissions. *Fuel*. 2009. Vol. 88, № 9. P. 1779–1785. DOI: 10.1016/j.fuel.2009.04.006.

11. Conventional and in situ transesterification of sunflower seed oil for the production of biodiesel / K. G. Georgogianni et al. *Fuel Processing Technology*. 2008. Vol. 89, № 5. P. 503–509. DOI: 10.1016/j.fuproc.2007.10.004.

12. Janakiraman S., Lakshmanan T., Chandran V., Subramani L. Comparative behavior of various nano additives in a DIESEL engine powered by novel Garcinia gummi-gutta biodiesel. *Journal of Cleaner Production*. 2020. Vol. 245. 118940. DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.118940.

13. Enzymatic production of biodiesel using lipase catalyst and testing of an unmodified compression ignition engine using its blends with diesel / Ja. Jayaraman et al. *Renewable Energy*. 2020. Vol. 145. P. 399-407. DOI: 10.1016/j.renene.2019.06.061.

14. Preheating of sunflower blended biodiesel for the improvement of performance characteristics of a DI diesel engine under various loads / A. K. Mohapatra et al. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*. 2019. Vol. 8, № 6. P. 921-926.

15. Thermodynamic fundamentals for fuel production management / K. Tucki et al. *Sustainability (Switzerland)*. 2019. Vol. 11, № 16. 4449.

16. Numerical and comparative study of butanol and ethanol diesel blends in a turbocharged compression ignition diesel engine / S. A. Ahmed et al. *International Agricultural Engineering Journal*. 2019. Vol. 28, № 2. P. 19-32. URL: <http://www.iaej.cn/EN/abstract/abstract880.shtml> (дата звернення: 10.10.2020).

17. 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 al. *International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development* 9. 2019. (Special Issue 2). P. 857-861.

18. 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.

19. 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.



20. Singh P., Goel V., Chauhan S. R. Effects of dual biofuel approach for total elimination of diesel on injection system by reciprocatory friction monitor. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part J: Journal of Engineering Tribology*. 2018. Vol. 232, № 9. P. 1068-1076.

21. 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.

22. Peng D.- X. 2016. Room temperature tribological performance of biodiesel (soybean oil). *Industrial Lubrication and Tribology*. 2016. Vol. 68, № 6. P. 617-623.

**ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ ПАЛИВНОГО НАСОСА  
ВИСОКОГО ТИСКУ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ПРИ  
ЕКСПЛУАТАЦІЇ НА РІЗНИХ ВИДАХ ПАЛЬНИХ  
Журавель Д.П.**

*Анотація*

В роботі отримані результати ступеня впливу різних видів паливних на надійність паливного насоса високого тиску паливної системи дизельного двигуна, використовуючи коефіцієнт готовності і технічного використання, як узагальнених показників надійності трактора в цілому. Аналіз запропонованої імовірнісної моделі надійності складної технічної системи дозволив виявити «слабку ланку» ПНВТ, які працювали на біопальних. Так, «слабкою ланкою» з точки зору надійності є ущільнення, середній ресурс яких становив 960 м.г., що в 4 рази менше в порівнянні з паливними системами, які працювали на дизельному пальному. Заміна інертних матеріалів ущільнень до агресивного середовища біопального дозволить підвищити надійність ПНВТ і паливної системи трактора в цілому.

**Ключові слова:** біопальне, моделювання надійності, паливна система, паливний насос високого тиску, ймовірність відмови, ймовірність безвідмовної роботи, коефіцієнт готовності, коефіцієнт технічного використання.

**ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА  
ВИСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ  
ЭКСПЛУАТАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ТОПЛИВ  
Журавель Д.П.**

*Аннотация*

В работе получены результаты степени влияния различных видов топлива на надёжность топливного насоса высокого давления топливной системы дизельного двигателя, используя коэффициент готовности и технического использования, как обобщённых показателей надёжности трактора в целом. Анализ предложенной вероятностной модели надёжности сложной технической системы позволил выявить «слабое звено» ТНВД, работающих на биотопливах. Да, «слабым звеном» с точки зрения надёжности являются уплотнения, средний ресурс которых составлял 960 м.ч., что в 4 раза меньше по сравнению с топливными



системами, працюючими на дизельному паливі. Замена матеріалів ущільнень, які є інертними до агресивної середовища біопалива дозволить підвищити надійність ТНВД і паливної системи трактора в цілому.

**Ключевые слова:** биодизельное топливо, моделирование надежности, топливная система, топливный насос высокого давления, вероятность отказа, вероятность безотказной работы, коэффициент готовности, коэффициент технического использования.

## **FUEL PUMP RELIABILITY ASSESSMENT HIGH PRESSURE DIESEL ENGINE AT OPERATION ON VARIOUS TYPES OF FUEL**

**D. Zhuravel**

### *Summary*

The work focuses on the development and justification of a set of measures to ensure the operational reliability of machines during their operation. Which includes methods for determining the reliability indicators of real machines; forecasting and operational management of their technical condition; substantiation of the volumes and frequency of repair and maintenance actions; optimal preventative replacement strategy; calculation of the need for spare parts; rational organization of technical operation. Operational reliability can be considered one of the most important characteristics of a machine that synthesizes a number of quality indicators that enable it to perform its functions without fail, when used for its intended purpose, to preserve for a long time, and also to restore working capacity with minimal labor, time and material resources. The results of the degree of influence of various types of fuel on the reliability of the high-pressure fuel pump of a diesel engine fuel system, as well as the availability and technical utilization coefficient, as generalized indicators of the reliability of the tractor as a whole, are obtained. It has been established that one of the ways to increase the availability and technical use of the tractor can be to replace structural materials of the diesel engine fuel system with inert to aggressive biodiesel fuel. An analysis of the proposed probabilistic reliability model of a complex technical system made it possible to identify the "weak link" of fuel injection pumps operating on biofuels. Yes, the weak chain in terms of reliability are seals, the average resource of which is 960 mph, which is 4 times less compared to diesel fuel systems. Replacing inert seal materials in an aggressive biofuel environment will improve the reliability of the high-pressure fuel pump and the fuel system of the tractor as a whole.

**Key words:** biodiesel, reliability modeling, fuel system, high-pressure fuel pump, failure probability, failure-free operation probability, availability coefficient, technical use coefficient.



УДК 631.171.075.4

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-10

## ВПЛИВ СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНОЇ РОБОТИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛУЗІ СВИНАРСТВА

Болтянська Н. І.,<sup>1</sup> к. т. н.

ORCID: 0000-0002-7887-4715

Шокарев О. М.,<sup>1</sup> к. т. н.

ORCID: 0000-0001-8646-4524

Заболотько О. О.,<sup>2</sup> к.т.н.

ORCID: 0000-0002-7887-4231

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: nataliia.boltianska@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* Вирішення продовольчої проблеми та підвищення добробуту населення України значною мірою залежить від розвитку сільського господарства [1,2]. Одним із головних напрямків поліпшення продовольчої проблеми є підвищення ефективності агропромислового виробництва і виведення його на якісно новий ступінь розвитку на основі всебічної інтенсифікації виробництва, ресурсозбереження, прискорення науково-технічного прогресу [3,4]. Свинарство є традиційною галуззю тваринництва в Україні, яка до 1914 р. посідала четверте місце у світі з виробництва і реалізації продукції свинарства, а нині входить до другої сотні виробників свинини. В умовах численних інституційних перетворень, за яких відбулося значне погіршення стану матеріальної бази вітчизняних великотоварних сільськогосподарських товаровиробників, особисті селянські господарства стали основними виробниками продукції найбільш трудомістких і збиткових галузей сільського господарства, в першу чергу тваринництва [5-7].

Розвиток особистих селянських господарств відбувається під впливом комплексу чинників: соціально-демографічних, загальноекономічних, правових, організаційних та інших. Низька заробітна плата, тяжка фізична праця при низькій технічній оснащеності, труднощі з придбанням кормів і реалізацією надлишків продукції стримують подальше зростання і розвиток особистих селянських господарств населення. Необхідно підвищувати товарність господарств населення, залучаючи їх в коопераційні і контрактні відносини з іншими учасниками аграрного ринку [8-10].

Темпи скорочення поголів'я свиней в сільськогосподарських підприємствах залишаються вищими, у порівнянні, з особистими господарствами населення, а співвідношення між поголів'ям свиней, які утримуються в господарствах населення і сільгоспідприємствах

залишається незмінним, – приблизно 70:30. Причому, в окремих областях (Чернівецька, Львівська, Тернопільська, Івано-Франківська, Рівненська) чисельність поголів'я свиней в господарствах населення становить від 85 до 90% [11-13].

За таких обставин стає очевидним, що питання відновлення чисельності поголів'я тварин і збільшення обсягів великотоварного виробництва свинини є дуже актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Впродовж 2013–2017 рр. зафіксовано суттєве зниження чисельності поголів'я свиней у сільських домогосподарствах. Так, у 2017 р. чисельність свиней з розрахунку на 10 сільських домогосподарств проти 2013 р. була на 19 %, чи 1,2 тварини менша (рис. 1).

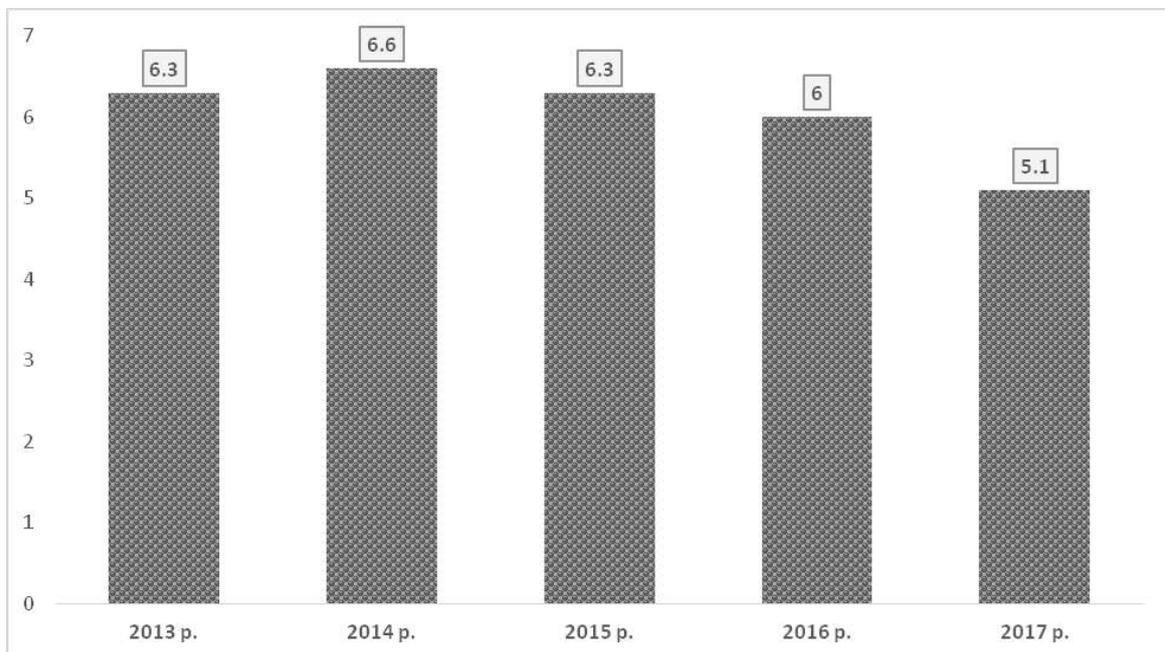


Рис. 1. Чисельність свиней у сільських домогосподарствах із розрахунку на 10 домогосподарств, голів

У 2017 році найбільша чисельність свиней з розрахунку на 10 сільських домогосподарств відзначена у Рівненській, Волинській, Тернопільській, найменша – Херсонській, Луганській, Харківській областях (рис. 2).



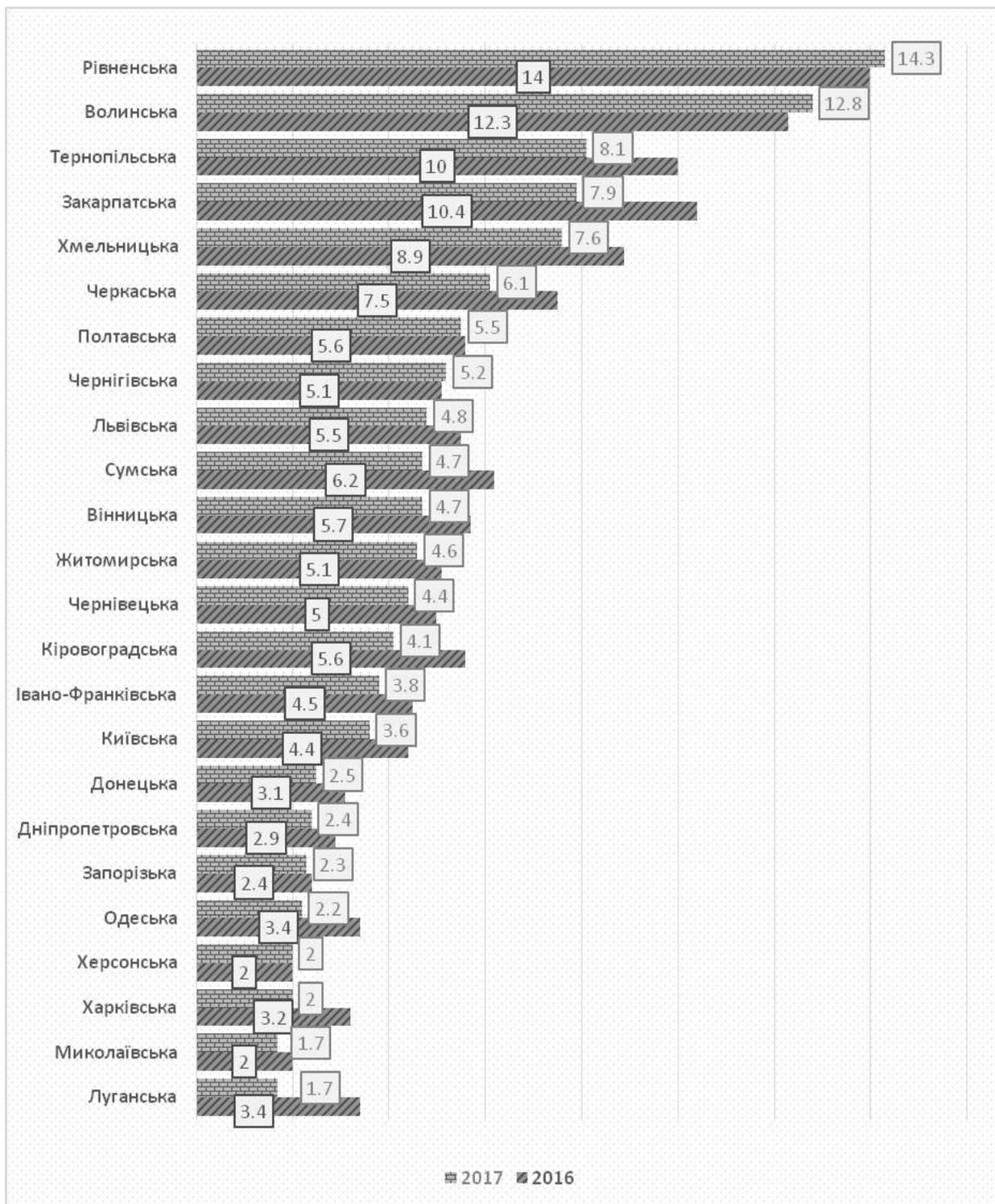


Рис. 2. Чисельність свиней у сільських домогосподарствах по областях України, із розрахунку на 10 домогосподарств, голів

Найбільша частка поголів'я свиней сконцентрована в сільських домогосподарствах з площею землекористування понад 1,01 га (рис. 3).

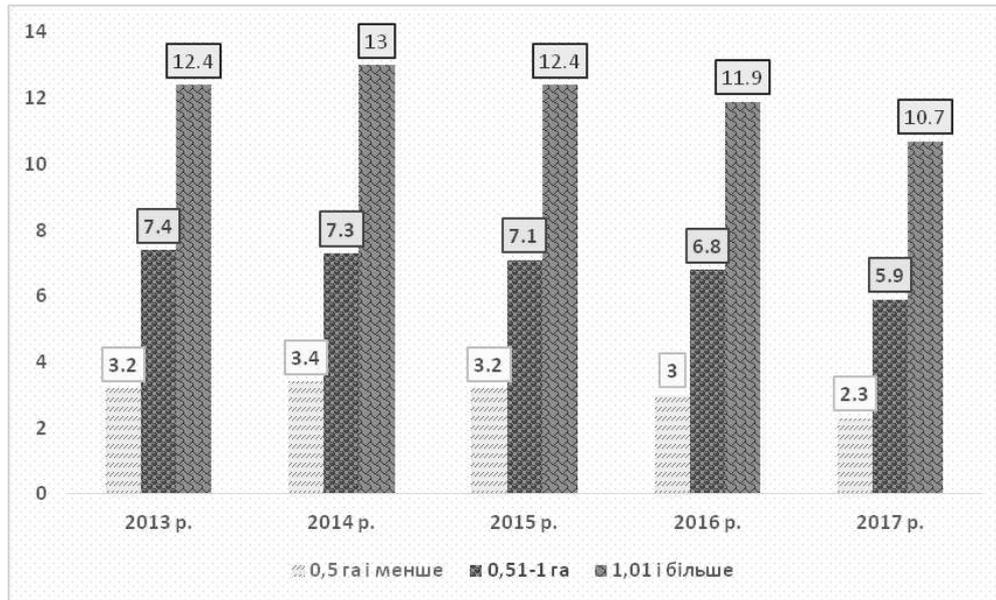


Рис. 3. Концентрація свиней у сільських домогосподарствах залежно від площі землекористування, %

Протягом 2013-2017 рр. найбільшу кількість свиней сконцентровано в сільських домогосподарствах, які очолюють чоловіки. Причиною цього є висока трудомісткість виробничих процесів (рис. 4).

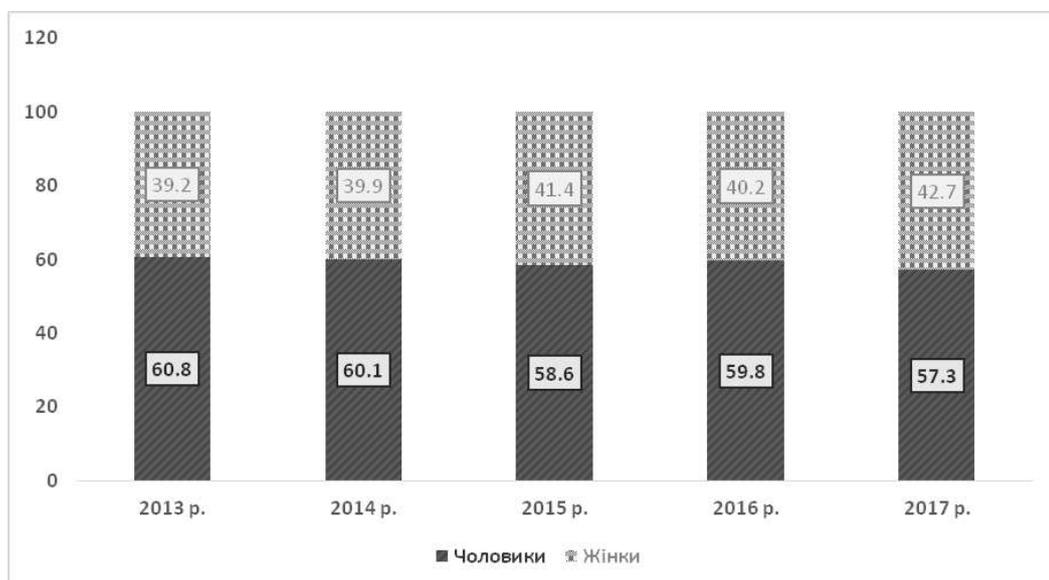


Рис. 4. Структура стада свиней у сільських домогосподарствах, %

Упродовж 2013–2017 рр. спостерігається скорочення чисельності сільських домогосподарств, які утримують свиней. Це викликано перш за все негативними соціально-економічними процесами, які відбуваються на селі, а також поширенням останніми роками захворювання на африканську чуму свиней. Разом із тим, у переважній

більшості домогосподарств, які утримують свиней, орієнтуються на власне самозабезпечення (рис. 5).

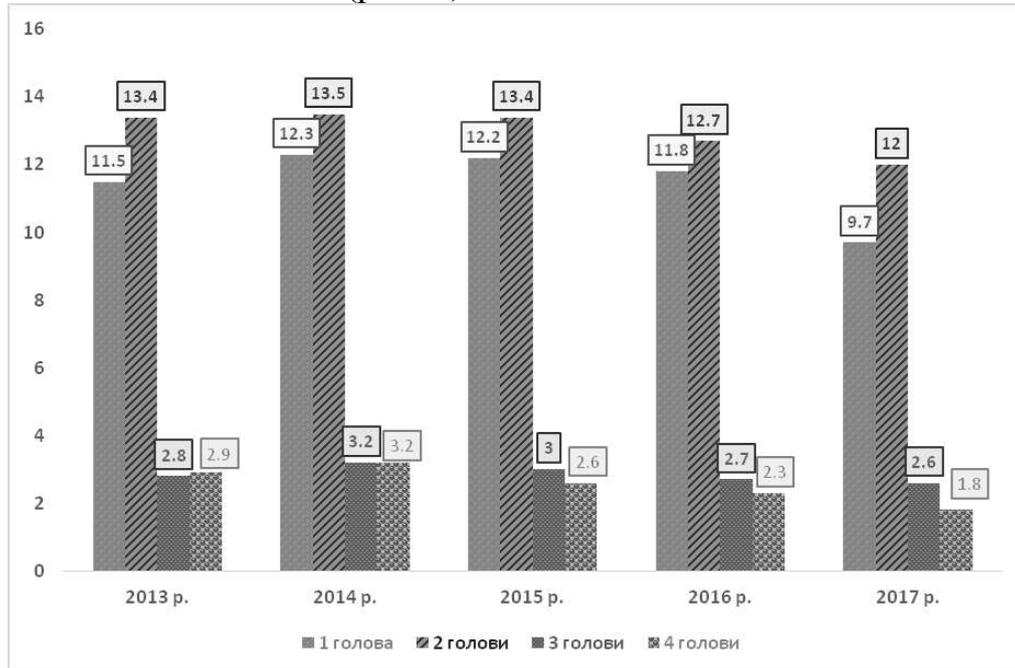


Рис. 5. Групування домогосподарств за чисельністю свиней в сільських домогосподарствах, %

Впродовж досліджуваного періоду (2013–2017 рр.) простежується тенденція до значного зменшення обсягів реалізації – майже на 41,3 тис. т. Тут слід вказати як на суб'єктивні – економічна недоцільність виробництва продукції свинарства в особистих селянських господарствах, так і об'єктивні – африканська чума свиней, тощо, причини (рис. 6).

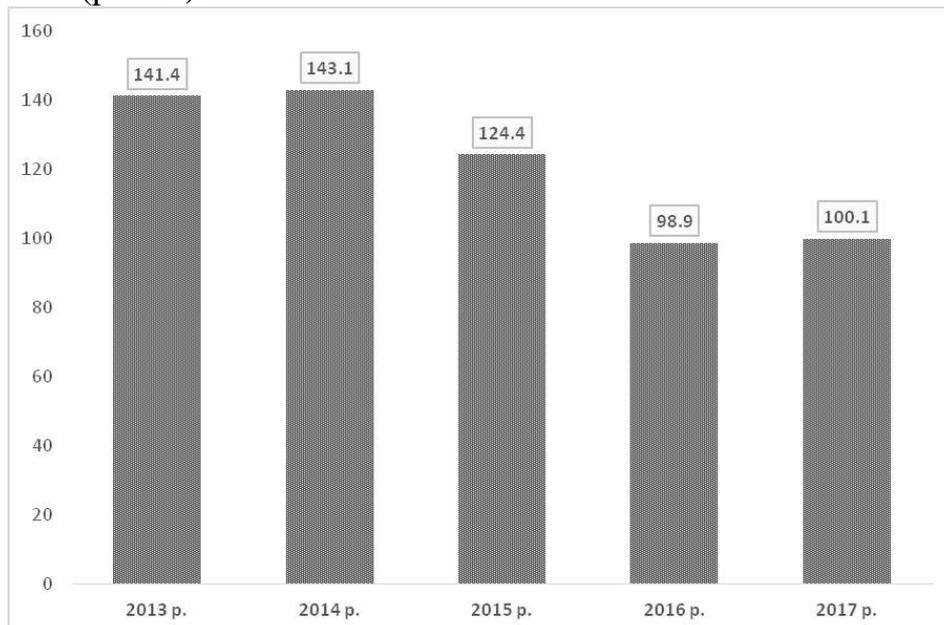


Рис. 6. Обсяги реалізації свиней господарствами населення по маркетингових каналах, тис. т

*Формулювання цілей статті.* Визначити вплив селекційно-



генетичної роботи на ефективність галузі свинарства.

*Основна частина.* Впродовж 2014 – 2018 рр. зафіксовано суттєве зниження чисельності поголів'я свиней у сільських домогосподарствах. Так, у 2018 р. чисельність свиней з розрахунку на 10 сільських домогосподарств проти 2014 р. була на 19 %, чи 1,2 тварини менша. У 2018 році найбільша чисельність свиней з розрахунку на 10 сільських домогосподарств відзначена у Рівненській, Волинській, Тернопільській, найменша – Херсонській, Луганській, Харківській областях [14-16].

Найбільша частка поголів'я свиней сконцентрована в сільських домогосподарствах з площею землекористування понад 1,01 га. Протягом 2014–2018 рр. найбільшу кількість свиней сконцентровано в сільських домогосподарствах, які очолюють чоловіки. Причиною цього є висока трудомісткість виробничих процесів.

Впродовж 2016–2018 рр. спостерігається зниження кількості особистих селянських господарств. Така обставина викликана складними соціально-демографічними процесами, які відбуваються в сільській місцевості (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка чисельності особистих селянських господарств та площі землекористування (станом на 01.03. звітного року)

Показник	Рік			2018 р., %, до	
	2016	2017	2018	2016 р.	2017 р.
Кількість господарств, тис. од.	4108,4	4075,2	4031,7	98,1	98,9
Площа земельних ділянок, тис.га	6307,2	6268,0	6175,6	97,9	98,5
У тому числі з цільовим призначенням					
для будівництва й обслуговування житлового будинку, господарських будівель і споруд	803,1	799,7	793,3	98,8	99,2
для ведення особистого селянського господарства	2603,3	2580,9	2551,3	98,0	98,9
Для ведення товарного сільськогосподарського виробництва	2837,1	2818,9	2799,3	98,7	99,3
з них узятих в оренду	315,9	330,2	338,5	107,2	102,5

Встановлено тенденцію до зменшення кількості сільських домогосподарств, які утримували свиней у 2017 р. порівняно з 2015 р., на 18,3%. При цьому зменшувалася кількість господарств, що мають одну голову, на 22,4, та які утримують дві голови – на 12,7% (табл. 2).



Таблиця 2

Розподіл сільських домогосподарств за поголів'ям утримуваних свиней за роками

Домогосподарства	Рік									2017 р., %, до 2015 р.	
	2015			2016			2017			Домогосподарств, МЛН ОД.	Поголів'я, МЛН ГОЛІВ*
	Домогосподарств,	%	Поголів'я, МЛН ГОЛІВ*	Домогосподарств,	%	Поголів'я, МЛН ГОЛІВ*	Домогосподарств,	%	Поголів'я, МЛН ГОЛІВ*		
Не утримують свиней	3,23	68,8	–	3,31	70,5		3,40	73,9		105,3	
Утримують свиней, голів:	1,47	<u>31,2</u> 100	<u>2,74</u> 100	1,39	<u>29,5</u> 100	<u>2,58</u> 100	1,2	36,1	<u>2,34</u> 100	81,6	85,4
1	0,58	<u>12,2</u> 39,5	<u>0,58</u> 21,2	0,55	<u>11,8</u> 39,5	<u>0,55</u> 21,3	0,45	<u>9,7</u> 37,5	<u>0,45</u> 19,2	77,6	77,6
2	0,63	<u>13,4</u> 42,9	<u>1,26</u> 46,0	0,60	<u>12,7</u> 43,2	<u>1,2</u> 46,5	0,55	<u>12,0</u> 45,8	<u>1,1</u> 47,0	87,3	87,3
3	0,14	<u>3,0</u> 9,5	<u>0,42</u> 15,3	0,13	<u>2,7</u> 9,4	<u>0,39</u> 15,1	0,12	<u>2,6</u> 10,0	<u>0,36</u> 15,4	85,7	85,7
4 і більше	0,12	<u>2,6</u> 8,2	<u>0,48</u> 17,5	0,11	<u>2,3</u> 7,9	<u>0,44</u> 17,1	0,08	<u>1,8</u> 6,7	<u>0,43</u> 18,4	66,7	89,6
Усього	4,7	–	–	4,7						97,9	

\* Від загальної кількості сільських домогосподарств, які утримують свиней, %.

\*\* Структура концентрації поголів'я свиней у сільських домогосподарствах залежно від кількості утримуваних свиней, %.

Поголів'я свиней в основному сконцентровано в сільських домогосподарствах із поголів'ям свиней 2 голови.

Отже, нині спостерігається зменшення кількості сільських домогосподарств, які мають худобу, при зростанні концентрації її в сільських домогосподарствах, які утримують 3 голови і більше. Цю обставину підтверджує припущення про процес розшарування особистих селянських господарств на споживчі – виробляють тваринницьку продукцію з метою задоволення потреб членів домогосподарства, та товарні – за своєю економічною сутністю здійснюють підприємницьку діяльність без реєстрації юридичної особи.

За таких обставин стає очевидним, що відновити чисельність поголів'я тварин і збільшити обсяги виробництва свинини в найкоротший термін можливо шляхом першочергового забезпечення господарств населення племінним, високо-продуктивним ремонтним



молодняком, збалансованими повнораціонними комбікормами та озброївши сільського господаря новітніми технологіями утримання та догляду за тваринами [15-19].

Успішний розвиток галузі свинарства та конкурентоспроможність її продукції залежать від ряду найважливіших факторів, серед яких відзначимо:

- рівень селекційно-генетичної роботи;
- технологія виробництва;
- організація кормової бази і годівлі тварин з урахуванням сучасних знань фізіології свиней.
- високий рівень ветеринарної та зоогігієнічних культури на свинарських підприємствах.

Важливим напрямом підвищення ефективності свинарства є розширення племінної бази. Потрібно вирощувати молодняк в племінних заводах і репродукторах та використовувати його в товарних господарствах. Потребує економічного обґрунтування і система відтворення. Так, останнім часом вітчизняні виробники на противагу туоровій орієнтуються на потоково-ритмічну систему відтворення, яка передбачає розбиття виробничого циклу на ритми (тривалістю 3- 7 днів) і дозволяє підприємцям оперативно реагувати на ринкові коливання. В той же час деякі підприємства зберегли та пристосували до сучасних умов господарювання туорову систему відтворення, яка включає в себе разове запліднення і опорос всіх свиноматок двічі на рік.

Слід зазначити, що в даний час рівень селекційно-генетичних робіт і технології, застосовувані в товарному свинарстві не завжди відповідають поставленим завданням. Продуктивність маточного стада в українських племінних господарствах поступається показникам провідних наукових свинарських центрів світу і складають 70–75% від їх рівня в кращому випадку. Істотно більше ми витрачаємо кормів на 1 кг приросту живої маси і майже в 2 рази вище відхід тварин [20,21].

Недостатньо використовується в загальній системі виробництва свинини всім відомий спосіб підвищення продуктивності тварин – гібридизація. Частка гібридного молодняку в даний час в Україні не перевищує 65%, в той час як за кордоном практично всі відгодівельне поголів'я отримують керуючись прийнятими схемами багатоступеневої гібридизації.

У 2005 році була запропонована і обґрунтована пірамідальна система виробництва свинини. В основі цієї системи пропонувалося створювати нуклеуси – селекційно-генетичні центри, призначені для роботи зі створення нових і вдосконалення існуючих порід і ліній свиней. Ці тварини повинні використовуватися як праатьківські форми для отримання проміжних гібридів. Наступною ланкою



піраміди передбачалися центри гібридизації, які на базі прабатьківських форм виробляли б гібридне поголів'я батьківського стада товарних репродукторів. На товарних вже репродукторах повинна здійснюватися заключна стадія гібридизації з отриманням дво-три-, і чотирипородних гібридів для відгодівлі. Встановлено, що дво-, трипородні гібриди ландрас з матками великої білої породи за відгодівельними та м'ясними показниками значно випереджають чистопородних тварин. В даний час, в Україні діють 19 племінних репродукторів з розведення свиней породи ландрас, в тому числі 4 з них – у Чернівецькій області. Свині породи ландрас – одна з кращих серед заводських порід світу за відгодівельними і м'ясними показниками. У порівнянні з великою білою породою середньодобові прирости ландрас більше на 11,4–17,9%, витрати корму на 1 кг приросту менше на 14,7–19,4%, забійних кондицій вони досягають на 20–25 днів раніше, на 12–20% краще використовують азотисту частину корми [22–24]. Як правило, власники тільки но відбудовуваних свинарських підприємств вважають за краще імпортувати племінну худобу, а не закупувати її в вітчизняних племінних заводах і репродукторах. В першу чергу це пояснюється необхідністю мінімізувати капітальні вкладення в будівництво і технічне оснащення ферм і комплексів.

Наразі широко поширена думка про негативний вплив систематичного освіження крові новостворюваних і вже існуючих стад свиней племінними тваринами з-за кордону. Однак, аналіз численних проєктованих об'єктів показує, що питома вага витрат на імпорт племінних тварин при первісному комплектуванні стада складає 4–5% від загальних капіталовкладень. Надалі, при повному освоєнні потужностей підприємства, щорічний ремонт стада становитиме близько 5% від поточних витрат на виробництво продукції.

Високопродуктивні тварини зарубіжної селекції в порівнянні з вітчизняними здатні забезпечувати виробництво більшої кількості продукції за більш короткий технологічний цикл. Це знижує потребу в скотомісцях для одноразової постановки тварин, а, отже, сприяє значній економії загальної площі забудови комплексу та обладнання.

Порівняння результативності використання тварин з різних селекційних центрів Європи і України при виробництві свинини в розрахунку на 1300 основних маток показує, що в Голландії від них отримують 28000 голів відгодованих свиней на рік живою масою 110 кг, в Данії – 35000 голів, в Україні – за середніми господарствами – 19000 голів на рік, що менше зарубіжних аналогів на 47 і 85% відповідно.

Порівняння технологічних параметрів продуктивності тварин, що використовуються різними компаніями, які закладаються при



будівництві нових свинарських підприємств наведені в табл. 3. Як видно з таблиці 1, врахований технологічний відхід молодняка від народження до здачі на м'ясокомбінат в середньому по Україні становить 22%, а приріст живої маси на відгодівлі – 328 г на добу при середній тривалості відгодівлі 280 днів. Ці показники у зарубіжних виробників варіюють від 12 до 14% і 720–970 г на добу, відповідно.

Таблиця 3

Рівень технологічних параметрів продуктивності тварин  
використовуваних при проектуванні свинарських підприємств

№ п/п	Найменування показників фірм	Данія	Австрія	Канада	Голландія	Германія	Україна
		Егеберг	Шауер	ФіЖіСі	Поркон	Біг Дачмен	Середні показники
ки 1	Число опоросів на рік на одну свиноматку	2,48	2,48	2,36	2,37	2,45	2,0
2	Підсисний період, днів	26	28	28	27	28	35...45
3	Прохолост, %	15	25	15	20	20	30
4	Поросят в опоросі, шт.	13	11	11	12	11	10,6
5	Живих поросят в опоросі, шт.	12	11	10	11	10	9,4
6	Втрати поросят в підсисний період, %	8	8	10	9	10	12
7	Середній приріст поросят на дорощуванні, гр.	470	580	470	420	450	280
8	Тривалість дорощування від народження, днів	77	94	77	77	84	60
9	Втрати поросят на дорощуванні, %	2	6	1,5	4	3	6,0
10	Вага поросят при переведенні на відгодівлю, кг	31,3	50	30	25	29,1	17,9
11	Середній приріст поросят на відгодівлі, гр.	972	780	760	800	725	328
12	Втрати поросят на відгодівлі, %	2	0	2	3	1	4
13	Тривалість відгодівлі до 110 кг, днів	81	77	105	112	120	280
14	Сумарна тривалість відгодівлі від опитування до бійні, днів	158	171	182	189	204	340
15	Кількість поросят знятих з відгодівлі на 1 свиноматку в рік	26,1	23,4	20,4	21,9	21,0	18,2

Істотно знижені у зарубіжних колег норми площ для тварин. Так, за технологією виробництва свинини ряду європейських компаній норма площі на 1 умовну свиноматку зі поросятами становить близько





13,2 м<sup>2</sup>. Вітчизняні технології в поєднанні з тваринами вітчизняної селекції вимагають близько 22–25 м<sup>2</sup>.

Необхідність проведення досліджень цих нормативів безсумнівна і повинна стати предметом подальшого вивчення.

*Висновки.* Підводячи підсумки вищевикладеного можна сформулювати ряд принципів, завдяки яким можна підвищити ефективність виробництва свинини:

1. Пірамідальність системи розведення свиней, яка передбачає чітку спеціалізацію господарств на селекційно-генетичні центри (нуклеуси), репродукторні і відгодівельні комплекси. При цьому дотримується односторонній рух поголів'я: племінне ядро (нуклеус) – племінні репродуктори – товарні репродуктори – відгодівельні господарства.

2. Отримання товарної продукції на базі систем гібридизації, що дає можливість отримати значну прибавку в продуктивності свиней за рахунок реалізації ефекту гетерозису – переваги потомства над батьківськими формами за продуктивними якостями.

3. При проектуванні селекційно-генетичних центрів в обов'язковому порядку передбачається створення елеверів – контрольно-випробувальних станції для вирощування висококласних кнурів-плідників. Досвід зарубіжних селекційно-генетичних центрів свідчить про високу ефективність елеверів як системи вирощування кнурів-плідників, де успішно застосовуються сучасні методи популяційної генетики і маркерної селекції.

Список використаних джерел.

1. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*. 2017. P. 155–158.

2. Karol C. Instalacja zgazowujaca osuszony osad sciekowy. 2011. *Motrol*. 2011. Vol. 13 (A). P. 80–93.

3. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production»*. 2019. Uman. 18-20.

4. Skliar A., Boltyanskyi B. 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.

5. 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.



6. Komar A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. *TDATU Scientific Bulletin*. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44–56.

7. Скляр Р. В. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.

8 Skliar R. 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.

9. Болтянський О. В. Зменшення витрат енергетичних ресурсів для отримання сільськогосподарської продукції. *Крамаровські читання: зб. тез доп. II Міжнар. наук.-техн. конф.* Київ: НУБіП, 2015. С. 54–55.

10. Болтянская Н. И. Пути развития отрасли свиноводства и повышение конкурентоспособности ее продукции. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2012. Vol. 14, № 3. P. 164–175.

11. International Energy Agency, The power of transformation. Wind, Sun and the Economics of Flexible Power Systems / *International Energy Agency*. Paris, 2013. 238 p.

12. Заболотько О. О. Аналіз потенційних напрямів ефективного розвитку галузі свинарства. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали I Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. С. 121-127.

13. Болтянский О. В. Анализ основных направлений ресурсосбережения в животноводстве. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, № 13. P. 49–54.

14. Скляр Р. В. Машины, обладнання та їх використання в тваринництві: підручник / Р. В. Скляр, О. Г. Скляр, Д. О. Мілько, Б. В. Болтянський. Київ: Кондор, 2019. 608 с.

15. Болтянська Н. И. Залежність конкурентоспроможності галузі свинарства від технологічних параметрів продуктивності тварин. *Вісник ХНТУ ім. П. Василенка*. Харків, 2017. Вип. 181. С. 81–89.

16. Болтянський О. В. Впровадження інфрачервоного опалення, як спосіб рішення проблеми ефективного обігріву на свинарських фермах. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2013. Вип. 13, т. 6. С. 166–171.

17. A novel poly (glutamic acid)/silk-sericinhydrogel for wound dressing: Synthesis, characterization and biological evaluation / L. Shi et al. *Materials Science and Engineering*. 2009. Vol. 48 (1). P. 533–540. DOI:10.1016/j.msec.2013.12.047.

18. Skliar O., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. 2013. Vol. 16, № 2. P. 183-188.



19. Pyrolysis behavior of different type of materials contained in the rejects of packaging waste sorting plants / A. Adrados et al. *Waste Management*. 2013. Vol. 33. P. 52–59.

20. Sklar O. G. *Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook*. Kyiv: Condor Publishing House. 2018. 380 p.

21. Sklar O. *Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual*. Color Print. 2012. 720 p.

22. Boltyanskaya N. I. The dependence of the competitiveness of the pig industry from it-chnology parameters of productivity of the animals. *Bulletin of Kharkov national University-University of agriculture after Petro Vasilenko*. 2017. Vol. 18. 81-89.

23. Boltyanskaya N. I. The system of factors of effective application resurser-Gauci technologies in dairy cattle in the enterprise. *Scientific Bulletin Tauride state agrotechnological University. Electronic scientific specialized edition*. 2016. Vol. 6. 55-64.

24. Скляр О. Г. *Основи проектування тваринницьких підприємств: підручник*. К.: Видавничий дім «Кондор», 2018. 380 с.

## **ВПЛИВ СЕЛЕКЦІЙНО-ГЕНЕТИЧНОЇ РОБОТИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ГАЛУЗІ СВИНАРСТВА**

**Н. І. Болтянська, О.М. Шокарев, О.О. Заболотько**

### ***Анотація***

В статті сформульовано основні принципи, дотримуючись яких можна підвищити ефективність виробництва свинини: 1. Пірамідальність системи розведення свиней, яка передбачає чітку спеціалізацію господарств на селекційно-генетичні центри (нуклеуси), репродукторні і відгодівельні комплекси. При цьому дотримується односторонній рух поголів'я: племінне ядро (нуклеус) – племінні репродуктори – товарні репродуктори – відгодівельні господарства. 2. Отримання товарної продукції на базі систем гібридизації, що дає можливість отримати значну прибавку в продуктивності свиней за рахунок реалізації ефекту гетерозису – переваги потомства над батьківськими формами за продуктивними якостями. 3. При проектуванні селекційно-генетичних центрів в обов'язковому порядку передбачається створення елевєрів – контрольно-випробувальних станції для вирощування висококласних кнурів-плідників. Досвід зарубіжних селекційно-генетичних центрів свідчить про високу ефективність елевєрів як системи вирощування кнурів-плідників, де успішно застосовуються сучасні методи популяційної генетики і маркерної селекції.

**Ключові слова:** свинарство, виробництво свинини, ефективність, селекційно-генетична робота.

## **ВЛИЯНИЕ СЕЛЕКЦИОННО-ГЕНЕТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОТРАСЛИ СВИНОВОДСТВА**

**Н. И. Болтянская, А. Н. Шокарев, О. А. Заболотько**

### ***Аннотация***

В статье сформулированы основные принципы, следуя которым можно



повысит эффективность производства свинины: 1. Пирамидальность системы разведения свиней, которая предусматривает четкую специализацию хозяйств на селекционно-генетические центры (нуклеусы), репродукторные и откормочные комплексы. 2. Получение товарной продукции на базе систем гибридизации, что дает возможность получить значительную прибавку в производительности свиней за счет реализации эффекта гетерозиса – преимущества потомства над родительскими формами по продуктивным качествам. 3. При проектировании селекционно-генетических центров в обязательном порядке предусматривается создание элеваторов – контрольно-испытательных станции для выращивания высококлассных хряков-производителей. Опыт зарубежных селекционно-генетических центров свидетельствует о высокой эффективности элеваторов как системы выращивания хряков-производителей, где успешно применяются современные методы популяционной генетики и маркерной селекции.

**Ключевые слова:** свиноводство, производство свинины, эффективность, селекционно-генетическая работа.

## INFLUENCE OF BREEDING AND GENETIC WORK ON THE EFFICIENCY OF THE PIG BREEDING INDUSTRY

N. Boltianska, O. Zabolotko, O. Shokarev

### *Summary*

An important way to increase the efficiency of pig breeding is to expand the breeding base. It is necessary to grow young animals in breeding plants and breeders and use it in commercial farms. Currently, the level of selection and genetic work and technology used in commercial pigs do not always meet the objectives. The productivity of the uterine herd in Ukrainian breeding farms is inferior to the indicators of the world's leading scientific pig centers and is 70-75% of their level at best. Significantly more we spend feed on 1 kg of live weight gain and almost 2 times higher than animal care. Insufficiently used in the general system of pork production is a well-known way to increase animal productivity – hybridization. The share of hybrid young currently in Ukraine does not exceed 65%, while abroad almost all fattening livestock are obtained following the adopted schemes of multi-stage hybridization. The article formulates the basic principles, following which it is possible to increase the efficiency of pork production: 1. pyramidal system of pig breeding, which provides for a clear specialization of farms for breeding and genetic centers (nucleus), reproductive and feeding complexes. At the same time, one-way movement of the livestock is observed: the breeding core (nucleus) – breeding reproducers – commercial reproducers – fattening farms. 2. Obtaining marketable products on the basis of hybridization systems, which makes it possible to obtain a significant increase in pig productivity due to the implementation of the heterosis effect – the advantages of offspring over parental forms in terms of productive qualities. 3. When designing breeding and genetic centers, it is mandatory to provide for the creation of elevators – control and testing stations for the cultivation of high-quality breeding boars. The experience of foreign breeding and genetic centers testifies to the high efficiency of elevators as a system for breeding boars, where modern methods of population genetics and marker breeding are successfully applied.

**Key words:** pig breeding, pork production, efficiency, selection and genetic work.



УДК 620.1

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-11

## ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ШЕСТЕРЕННИХ НАСОСІВ

В'юник О. В.<sup>1</sup>, інж.,

ORCID: 0000-0002-6413-5567

Серий І. С.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID 0000-0001-5943-7213

Смелов А. О.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-6533-7489

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

e-mail: [olga.viunyk@tsatu.edu.ua](mailto:olga.viunyk@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* В наш час гостро стоїть питання підвищення ефективності використання мобільних машин, які оснащені гідравлічними системами. Одним із шляхів вирішення цього питання є відновлення зношених деталей, яке характеризується комплексом операцій по відновленню справного або працездатного стану деталей та технічного ресурсу. Припрацювання поверхонь тертя деталей після відновлення є важливим резервом підвищення надійності і ресурсу шестеренних насосів після ремонту, отже впровадження прогресивних технологій при ремонті і обкатуванні гідромашин є актуальним.

*Аналіз останніх досліджень.* Ця робота є складовою досліджень, присвячених підвищенню післяремонтної довговічності вузлів тертя шестеренних насосів НШ–К за рахунок зниження зносу деталей в період припрацювання. Один із шляхів прискорення припрацювання деталей є застосування припрацювальних присадок. У попередній роботі Дідура В., та В'юник О. було проаналізовано різні присадки для припрацювання деталей гідромашин після ремонту і виявлено, що найбільш перспективним є використання комплексних присадок, які містять поверхнево-активні й хімічно активні речовини [1].

Розширення обсягу знань в області фізики, хімії і механіки веде до розуміння складності структури поверхневого шару, яка складається з дефектного шару матеріалу твердого тіла, який утворився при його обробці, плівок окислів, хемосорбованих і адсорбованих шарів.

В проаналізованих роботах автори Yakovleva A. P., Крагельский И. В., Добычин М. Л., Комбалов В. С. використовували поняття молекулярних сил при описі контактної взаємодії [2], загальне рівняння сили тертя поряд з механічним компонентом, містить молекулярну складову [3]. Спільний розгляд молекулярних сил і



деформованості граничного шару привело до формулювання поняття «третього тіла» у контакті. В останній час граничний шар мастильного середовища із прилягаючими плівками на твердих контактуючих поверхнях розглядається як один з основних факторів взаємодії [4].

В роботах П. А. Ребиндера використовувався комплексний підхід до розуміння фрикційної взаємодії з позицій фізико-хімічної механіки [5]. Поява високоефективних фізичних методів (растрова електронна мікроскопія, спектроскопія) дослідження структури і складу поверхневих шарів твердих тіл дозволило одержати принципові результати, які можна використовувати при описі зношування як динамічного комплексу процесів руйнування вихідних структур, формування нових структур і їх руйнування. Це дало поштовх до створення теорії фрикційної взаємодії на основі опису процесів масопереносу при терті. Одна з таких теорій запропонована в роботі [6], де автор запропонував модель тертя і вираз для коефіцієнта тертя.

*Формулювання мети статті.* Провести розрахунково-теоретичний аналіз підвищення довговічності вузлів тертя шестеренних насосів застосуванням фтороорганічних поверхнево-активних речовин (епіламів).

*Основна частина.* Загальним випадком фрикційної взаємодії [7] є виникнення перенесеної плівки на обох поверхнях тертя деталей (рис. 1).

Поверхні тіл покриті шаром перенесеної речовини (рівної товщини), а ковзання реалізується або на границі розділу 2 – 2 з коефіцієнтом тертя  $\mu_1$ , або на границі розділення 1–1, (1'–1') з коефіцієнтом  $\mu_2$ . Якщо  $\mu_1 \geq \mu_2$  плівка на поверхні тіла може відшаровуватися частинками.

Структура плівки переносу характеризується істотною неоднорідністю, більшим числом пор, які є мікрорезервуарами для мастильного матеріалу. Дрібнодисперсні частки металу з активною поверхнею слугують також центрами створення полімероподібних продуктів. Присутність у зоні контакту поверхнево-активних речовин з металами приводить до реалізації особливого механізму фрикційної взаємодії, що характеризується колоїдною системою часток у мастильному матеріалі і структурними перетвореннями на поверхні розділення. Це приводить до швидкої адаптації пари тертя і переходу її в сталий режим роботи [7–8].

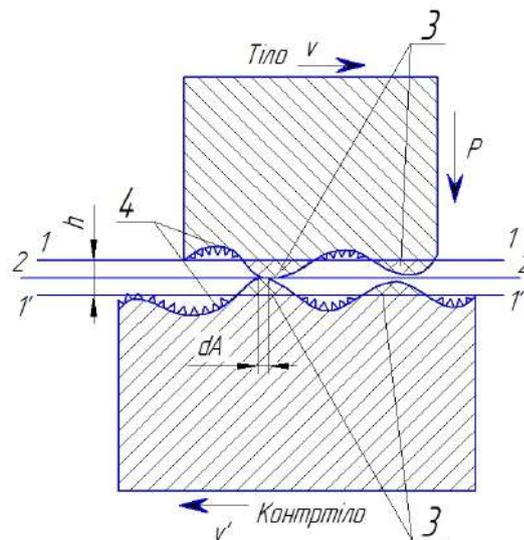


Рис. 1. Схема фрикційної взаємодії поверхонь, покритих плівками переносу: 1 – 1, (1'– 1') – границі розділу перенесеної плівки і поверхневого шару металу тіл; 2 – 2 границя розділу на рівні «плівка – плівка» перенесені на взаємодіючі тіла; 3 – плівки перенесені на поверхні тіл тертя; 4 – адсорбований і хемосорбований шар змащення;  $V, V'$  – швидкості руху;  $P$  – навантаження;  $dA$  – площа одиничного контакту;  $h$  – товщина перенесених плівок.

Зміна режиму тертя або властивостей поверхневого шару значно впливають на величину зношування і силу тертя.

При терті, як і при ударі, шорсткості граничних поверхонь при взаємодії, сприймають як пружні, так і сильні локальні пластичні деформації з порушенням структури і появою дислокацій. У результаті збільшується вільна поверхнева енергія, і контактна зона отримує стан сильного активування. Він супроводжується випромінюванням електронів, перетворенням речовин, активацією хімічних реакцій.

Відомо, що зміна за часом у міжатомному зв'язку під навантаженням (довговічність тіла) від напруги ( $\sigma$ ) і температури ( $T$ ) описується рівнянням, що лежить в основі кінетичної природи руйнування твердих тіл [9]:

$$\tau = \tau_0 \cdot \exp \frac{U_0 - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T}, \quad (1)$$

де  $\tau$  – час до руйнування, с.;

$\tau_0$  – період теплових коливань атомів, с.;

$U_0$  – величина енергетичного бар'єра, Дж.;

$\sigma$  – напруга, МПа.;

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$  Дж/К – постійна Больцмана;

$\gamma$  – коефіцієнт, який характеризує міцнісні властивості твердого тіла;



$T$  – абсолютна температура,  $K$ .

Це загальне рівняння для довговічності справедливо для великого числа найрізноманітніших матеріалів у широкому інтервалі напруг і температур. У середньому для всіх матеріалів, незалежно від їхнього хімічного складу, типів зв'язку й структури,  $\tau_o \approx 10^{-13} c$ . Початковий енергетичний бар'єр  $U_o$  (енергія деструкції зв'язку) різний для різних матеріалів і по величині близький до значення енергії від активації розпаду міжатомних зв'язків у твердих тілах. Коефіцієнт  $\gamma$  сильно залежить від структурних змін: режиму термообробки, змісту домішок, ступені орієнтації (для полімерів) і пластифікації, кристаліграфічної орієнтації і щільності дислокацій.

Така ж функціональна залежність (див. 1) кінетичних параметрів від температури спостерігається і для безлічі інших явищ (дифузії, випарування, протікання хімічних реакцій і так далі), які обумовлюються хаотичністю теплового руху атомів і звідси нерівномірністю розподілу теплової енергії між ними [9].

Очевидно, правомірним буде застосування подібної залежності і для процесу динамічної взаємодії тіл, зокрема для процесу граничного тертя металів. Тоді, якщо це процес протікання трибохімічних реакцій, то  $U_o$  – той надлишок енергії в порівнянні із середньою енергією молекул при даній температурі, яку повинні мати молекули, що вступають у хімічну реакцію.

Для коефіцієнта тертя  $f$ , аналогічне за видом рівняння має вигляд [8]:

$$f = f \cdot \exp \frac{U_o - \gamma \cdot \sigma}{k \cdot T}. \quad (2)$$

Експерименти, проведені у фізико-технічному інституті Білоруської академії наук разом з Бердянським дослідним маслозаводом показали, що дане рівняння правильно описує зміну коефіцієнта тертя в інтервалі навантажень від 20 до 240 МПа.

Під модифікуванням поверхонь тертя розуміють хімічне насичення поверхонь тертя у процесі самого тертя. До хімічного модифікування можна віднести і процес вибіркового переносу.

Хімічна модифікація поверхонь тертя залежить від наявності в мастильному матеріалі хімічно-активних речовин, які взаємодіючи з металевими поверхнями, знижують схильність до утворення металевих зв'язків, і перешкоджають схоплюванню і підвищеному зношуванню при важких режимах тертя. У якості критерію  $\Pi_{ep.x}$ , який враховує хімічну модифікацію, можна прийняти співвідношення [9, 10]:

$$\Pi_{ep.x} = \frac{R \cdot T}{U}, \quad (3)$$





де  $U$  – енергія активації розпаду міжатомних зв'язків хімічно модифікованих шарів, Дж;

$T$  – абсолютна температура, К;

$R$  – універсальна газова постійна, ( $R=8,3$  Дж/моль·К).

Зносостійкість поверхонь буде залежати від співвідношення швидкості стирання модифікованих шарів і їх утворення в процесі тертя, від фізико-хімічних властивостей цих шарів, їх розмірів.

Проведені дослідження показують, що шляхом цілеспрямованої зміни зовнішніх умов, складу і природи змащення можна змінювати властивості поверхонь тертя в потрібному напрямку.

З точки зору хімотології процесу зношування деталей при обкатуванні можна виділити п'ять видів фрикційної взаємодії.

1. Пружне деформування. Напруги в точці контакту в цьому випадку не перевищують границі текучості матеріалу, а зношування відбувається в результаті фрикційної втоми.

2. Пластичне відтиснення матеріалу. Напруги досягають межі плинності, але матеріал обтікає мікроступи, які впровадилися. Зношування- результат малоциклової фрикційної втоми.

3. Мікрорізання. Напруги досягають межі міцності, зношування відбувається за рахунок відриву мікростружок.

4. Адгезійне порушення фрикційного зв'язку. За рахунок прилипания руйнується захисна адгезійна плівка на поверхні металу.

5. Когезійний відрив. Міцність фрикційного зв'язку перевищує міцність основного металу, відбувається захоплення і глибинне виривання металу.

Через те, що мікроступи шорсткої поверхні неоднакові по висоті і формі, то в процесі припрацювання мають місце всі п'ять видів фрикційної взаємодії. На процеси мікрорізання і пластичного відтискування матеріалу можна впливати шляхом впровадження пластифікуючих присадок в обкаточні мастила. Процес адгезійного порушення фрикційного зв'язку може бути змінений шляхом введення адгезійних присадок. Процес когезійного відриву може бути оптимізований за рахунок протизадирних властивостей масел.

Таким чином, застосування найбільш раціонального набору присадок буде суттєво впливати на зношування деталей аксіально-поршневих гідромашин. У процесі життєвого циклу зношування деталей тертя можна розглядати як суму двох випадкових функцій:

$$U(t) = f_1(t) + f_2(t), \quad (4)$$

де  $f_1(t)$  – функція, що відображає зношування при працюванні;

$f_2(t)$  – функція, що відображає зношування при експлуатації.

Інтенсивність зношування деталей машин у процесі припрацювання характеризується комплексним станом поверхонь



тертя. У відповідності з існуючим станом про приробіток контактуючих поверхонь деталей, один з її результатів – утворення рівноважної шорсткості, яка не залежить від вихідної і визначається тільки умовами тертя. При досягненні рівноважної шорсткості коефіцієнт тертя і інтенсивність зношування стають мінімальними. Тільки після утворення рівноважного стану поверхневого шару можна говорити про завершення процесу припрацювання. Звідси, підвищення якості процесу припрацювання деталей полягає в скороченні часу досягнення рівноважного стану контактуючих поверхонь, який характеризується найкращими трибологічними параметрами з погляду подальшої експлуатації агрегату.

З точки зору енергетичних перетворень настання рівноважного стану відбувається пропорційно збільшенню енергії активації  $d(A_a)$  в одиницю часу, яке визначають із залежності [3]:

$$10adA_a = \frac{dS}{dt} = a \left( \frac{dA_T}{dt} - \frac{dA_O}{dt} \right), \quad (5)$$

де  $a$  – постійний коефіцієнт, с/Н;

$S$  – площа контакту, м<sup>2</sup>;

$dA_T$  – енергія тертя, Дж;

$dA_O$  – енергія, що приділяється, Дж.

При постійній площі контакту ( $dS/dt = 0$ ) процес переходить у рівноважний стан. У процесі припрацювання енергія, яка виділяється, змінюється за складним законом і при деякому критичному значенні  $S = S_{кр}$  досягає граничного значення і залишається незмінною або починає зменшуватися.

Швидкість збільшення площі контакту  $dS/dt$  більше при наявності в маслі спеціальних припрацювальних присадок. Це пояснюється більш низьким опором зрушенню плівок переносу, а також тим, що антифрикційні покриття в більшості випадків більш пластичні в порівнянні з основним шаром металу. Розділення поверхонь легкоплавкими евтектиками поліпшує їх припрацюваність, перешкоджає металевому схоплюванню на ділянках контакту в початковий момент і підвищує несучу здатність пар тертя. У процесі роботи опір поверхонь зношуванню і задирам визначається властивостями матеріалів деталей, і масел, які застосовуються. Процеси контакту, тертя і зношування, як правило, пов'язані з безпосередніми фізичними взаємодіями поверхонь, які здійснюють відносні рухи. На всі ці процеси впливає масло, яке виконує наступні функції: розділяє поверхні тертя і зменшує площу безпосереднього контакту металевих поверхонь; змінює пластичні властивості взаємодіючих поверхонь; охолоджує поверхні тертя і



змиває з них або вимиває із зазорів частки металів і їх оксидів, які мають абразивний вплив на поверхні тертя. При наявності плівки переносу, поверхні тертя переміщуються одна щодо іншої з малим опором зрушенню і без яких-небудь ушкоджень. Залежно від товщини плівки ( $10^{-3} \dots 10^{-2}$ ), розподілу в ній профілів і ступені геометричного прилягання поверхонь виникають різні режими змащування.

Припрацювання деталей качаючого вузла аксіально-поршневих гідромашин відбувається в режимі граничного змащення. Цей режим характеризується наступними особливостями: поверхні розташовані на близькій відстані і між поверхнями існує контакт; гідродинамічні явища і вплив об'ємних реологічних властивостей масла малі і не суттєві; трибологічна поведінка системи визначається поверхневими взаємодіями між тонкими плівками переносу і твердими поверхнями.

Основне призначення масел полягає в створенні між поверхнями, що рухаються, плівки, здатної зменшити число прямих взаємодій твердих тіл, і характеризується малим опором здвигу. Граничне мащення повинно мати високу адгезію до поверхні тертя, зменшувати зношування і мати малу міцність на зріз, що забезпечує низьке тертя.

Взаємодія твердого тіла з маслом, яке приводить до появи захисної граничної плівки, може бути представлена трьома механізмами: фізичною і хімічною адсорбцією, хімічною реакцією.

Фізична адсорбція характеризується тим, що молекули мащення затримуються на поверхні металу силами Ван-Дер-Ваальса [3]. Полярні молекули мащення, наприклад, стеаринової кислоти, приєднуються до металу головним чином у вертикальній орієнтації, утворюючи міцну плівку. Ця плівка протистоїть проникненню нерівностей і тим самим перешкоджає контакту металу з металом. Багато молекул зближаються гранично щільно і зміцнюють плівку поперечними когезійними силами. Зона малої міцності на зріз створюється між зовнішніми поверхнями двох монослоїв, адсорбованих прилягаючими металевими поверхнями. Система граничного мащення з фізичною адсорбцією плівки чутлива до температури, оскільки нагрівання викликає десорбцію, порушення орієнтації і плавлення плівки. Тому граничне мащення з перевагою механізму фізичної адсорбції застосовується при низьких температурах і в умовах малого тепловиділення при терті, тобто при малих навантаженнях і швидкостях ковзання пар тертя. У системі граничного мащення може виникати хімічна адсорбція (хемосорбція), коли молекули змащення втримуються на поверхні хімічними зв'язками. Прикладом служить взаємодія стеаринової кислоти з окисом заліза в присутності води з утворенням на поверхні плівки «металевого мила» із стеарата заліза. «Металево мило» має більш високі міцнісні властивості на зріз і температуру плавлення (390 K), що підвищує стійкість плівки.



Хімічно адсорбовані плівки мають ефективну змащувальну здатність, аж до температури плавлення, незалежно від того, утворені вони на поверхні реагуючої чи ні. Вони забезпечують змазування при помірних температурах, навантаженнях, швидкостях ковзання, але виявляються непридатними у важких робочих умовах через порушення орієнтації, розм'якшення або плавлення плівки. У системі із граничним змащенням між твердими поверхнями і молекулами мащення можуть протікати хімічні реакції, коли існує обмін валентними електронами, і утворюються нові хімічні речовини (плівки солей металів, що володіють малою міцністю на зріз, але високою температурою плавлення). Ці плівки більш стійкі ніж будь-яка фізично або хімічно адсорбована плівка. Граничні мащення, що виникають у результаті хімічної реакції, придатні для високих навантажень, температур і швидкостей ковзання, але вони не повинні бути занадто активними. У противному випадку розвивається корозійно-механічне зношування.

*Висновки.* Таким чином, дослідження показують, що:

- працездатність масла визначається стабільністю плівки на нерівностях металу, яка, у свою чергу, залежить від взаємодії металу, масла і навколишнього середовища, а також від тепловиділення на поверхнях розділу при терті. Ушкодження поверхні тертя деталі виникає у випадку, якщо контактний тиск перевищить величину несучої здатності плівки змащення;

- руйнування поверхневих плівок може відбуватися поетапно. Спочатку руйнуються або термічно розкладаються зовнішні шари (фізично або хімічно адсорбовані), а потім внутрішні (оксидні і зміцнені). Таким чином, механізми порушення працездатності таких плівок масла на поверхнях тертя деталей визначаються фізичною і хімічною природою захисних поверхневих шарів, а також умовами контакту нерівностей.

#### Список використаних джерел

1. Ремонт автомобілів: навчальний посібник/ В.Я. Чабанний та ін. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

2. Черкун В.В. Підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою: автореф. дис. ... канд. техн. наук: спец. «Тертя та зношування в машинах». Київ, 2011. 19 с.

3. Fox M. Polymer Tribology, *Lube Magazine*. 2016. Vol. 135. P. 32–37.

4. Aldousiri B., Shalwan A., Chin C.W. A review on tribological behavior of polymeric composites and future reinforcements. [\*Advances in Materials Science and Engineering\*](#). Vol. 2013. P. 1–8.



5. Закалов О.В., Закалов І.О. Основи тертя і зношування в машинах: навч. посіб. Тернопіль, Видавництво ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 322 с.
6. Elvis A.I, Shahrir A., Ahmad K., Andanastuti M., Khairuddin O. Comparative Study of Characteristic of Lubricant Oils in Gasoline and Compressed Natural Gas Engines *European Journal of Scientific Research*. 2009. Vol.30 No.2 (2009). P.282–293
7. Посвятенко Е.К., Кропівний В.М., Посвятенко Н.І., Русских В.В. Ремонт шестеренних насосів гідросистем дорожніх машин. *Збірник наукових праць ХНАДУ*. Харків. 2008. Випуск 38. С. 122 – 136.
8. Ковалевський С.В., Лукічов О.В., Матвієнко С.А. Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами *Вісник ЖДТУ*. 2012. № 3. С. 74–79.
9. Дідур В. В., Паніна В. В, В'юник О. В. Спосіб підвищення післяремонтної довговічності шестеренних насосів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 110–117.
10. В'юник О.В., Дідур В.В., Паніна В.В., Дашивець Г.І. Теоретичні підходи застосування різних присадок при обкатуванні гідромашин *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. С. 206–115.
11. Паніна В.В., В'юник О.В., Дашивець Г.І., Журавель Д.П. Взаємозамінність, стандартизація та технічні вимірювання: навч.-метод. посіб. до лабораторного практикуму для самостійної роботи. Мелітополь: «Люкс», 2019. – 84 с.
12. Черкун В.Е. Ремонт тракторных гидравлических систем.М.: Колос, 1984 – 253 с.
13. Yakov Nemyrovskyi., et al. “Improving the Durability of Agricultural Machinery Parts by Applying Antifriction Coatings”. *Acta Scientific Agriculture Volume 4 Issue 5*. 2020. 46–49.
14. Ремонт машин та обладнання: підручник / О.І. Сідашенко та ін. К.: Агроосвіта, 2014. 665 с.
15. K. Friedrich Polymer composites for tribological applications *Advanced Industrial and Engineering Polymer Research* Vol. 1. Issue 1. 2018. P. 3–39.
16. Simon, C.T., Michael, L.M. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. *Tribology International*, 2004. Vol. 37: 517–536.



## **ПРОГРАМА ТА МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЕПІЛАМНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСА**

**В'юник О.В., Сірий І.С., Смелов А.О.**

### *Анотація*

Ефективність роботи сільськогосподарської техніки залежить, головним чином, від її надійності. Працездатність і ресурс техніки в значній мірі визначаються інтенсивністю зношування деталей тертя. Від матеріалу і покриття трибоспряжень залежить зносостійкість і довговічність вузлів тертя при експлуатації. В статті наведено програму і методику експериментальних досліджень впливу епіламних покриттів на зносостійкість деталей насоса НШ-К. Представлена методика мікрометражних досліджень деталей та методика визначення функціональної залежності між структурними параметрами технічного стану насоса, які обумовлюють об'ємні витрати робочої рідини та впливають на об'ємний коефіцієнт подачі насоса. Описано порядок проведення стендових випробувань. Наведені вимірювані параметри, інструменти, прилади та обладнання для проведення експериментальних досліджень.

**Ключові слова:** програма, методика, шестеренний насос, дослідження, вимірювання, вимірювальні інструменти, експеримент.

## **ПРОГРАММА И МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭПИЛАМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСА**

**Вьюник О.В., Серый И.С., Смелов А.А.**

### *Аннотация*

Эффективность работы сельскохозяйственной техники зависит, главным образом, от ее надежности. Работоспособность и ресурс техники в значительной степени определяются интенсивностью износа деталей трения. От материала и покрытия трибосопряжений зависит износостойкость и долговечность узлов трения при эксплуатации. В статье приведены программа и методика экспериментальных исследований влияния эпиламных покрытий на износостойкость деталей насоса НШ-К. Представлена методика микрометражных исследований деталей и методика определения функциональной зависимости между структурными параметрами технического состояния насоса, которые обуславливают объемный расход рабочей жидкости и влияют на объемный коэффициент подачи насоса. Описан порядок проведения стендовых испытаний. Приведены измеряемые параметры, инструменты, приборы и оборудование для проведения экспериментальных исследований.

**Ключевые слова:** программа, методика, шестеренный насос, исследования, измерения, измерительные инструменты, эксперимент.



## **PROGRAM AND METHODS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE EFFECT OF EPILAM COATINGS ON THE WEAR RESISTANCE OF PUMP PARTS**

**Viunyk O., Sieryi I., Smielov A.**

### *Summary*

The efficiency of agricultural machinery depends mainly on its reliability - the ability to perform given functions with minimal labor costs and material resources for a long time. The efficiency and resource of agricultural machinery are largely determined by the intensity of wear of friction parts. The practice shows that 80-90% of machine parts fail due to wear. By choosing the right material and coating of the triboconjugation, you can significantly increase the wear resistance and durability of the friction units during operation. From the finish processing of parts depends not only the initial running, but also the subsequent intensity of wear during operation. One of the main advantages of the finishing antifriction non-abrasive treatment is the relative simplicity and versatility of the method, which allows the use of this method in a large machine-building enterprise with mass production, and in a small motor transport enterprise. This work is part of research on improving the post-repair durability of friction units of gear pumps by reducing wear of parts during the run-in period. The article presents the program and methods of experimental studies of the effect of epilam coatings on the wear resistance of gear pump parts. The method of micrometric research of pump parts and the method of determining the functional relationship between the structural parameters of the technical condition of the pump, which determine the volumetric flow rate of the working fluid and affect the volumetric flow rate of the pump. The procedure for conducting bench tests is described. Also the measured parameters, tools, devices and the equipment for carrying out experimental researches are given. Schemes of measurement of details of the gear pump are presented. The proposed program and methods of experimental research will determine the significance of the influence of epilam coatings on the wear resistance of pump parts.

**Key words:** program, technique, gear pump, research, measurements, measuring instruments, experiment.



УДК 628.3

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-12

## МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ І СКЛАДОВИХ ОДИНИЦЬ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мовчан С. І., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8665-482X

Дереза О. О., к.т.н, доц.

ORCID: 0000-0001-8933-782X

Дереза С. В., інж.

ORCID: 0000-0001-9797-0967

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного.*

E-mail: serhii.movchan@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* У водогосподарському комплексі країни використання води є важливою умовою розвитку суспільства у цілому і окремих його галузей. Дбайливе і раціональне використання водних ресурсів пов'язане із виснаженням водних об'єктів, погіршенням їх екологічного стану за рахунок забруднення. Особливо це стосується промислового сектору країни, в якому вода використовується в переважній більшості технологічних процесів і операцій.

З одночасним розвитком промислового сектору країни, потребує ретельного, дбайливого і оптимального використання води і водних ресурсів. Тому не дивно, що найбільше за все приділяється уваги оптимізації кількісного і якісного складу води в системах оборотного водопостачання.

Моделювання – це опосередковане дослідження тих об'єктів пізнання, безпосереднє вивчення яких іншими методами утруднене або неможливе [1, с. 21].

Моделювання включає ряд взаємопов'язаних етапів:

- 1) формування теорії чи гіпотези;
- 2) розробка еколого-безпечної моделі, для перевірки, уточнення або удосконалення теорії чи гіпотези;
- 3) оцінка параметрів обраної моделі;
- 4) перевірка моделі, статистичні висновки;
- 5) прогнозування на основі отриманої моделі;
- 6) апробація, перевірка в лабораторних та промислових умовах;
- 7) застосування моделі (для контролю)[1, стор. 169].

Отже, метод моделювання завжди передбачає наявність трьох складових елементів – об'єкт пізнання (оригінал), дослідник (суб'єкта) і сама модель.





*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз літературних джерел (Степаненко Д.С., Тарасюк І.О. та ін.) з даної тематики моделювання свідчить, що, з врахуванням проблеми, сьогодення у галузі водогосподарського комплексу переважно залежить від скорочення термінів проєктування до експлуатації систем водопостачання: промислового, оборотного та ін.

Питаннями забезпечення надійності і ефективності систем оборотного водопостачання займались провідні науковці і спеціалісти у галузі водогосподарського комплексу країни (Епоян С.М., Орлов В.О., Новохантій В.Г. та ін.).

Однак, використання моделювання при розробленні окремих елементів і складових одиниць, не знайшло прикладного використання для систем оборотного, повторного промислового і господарсько-питного водопостачання.

За результатами використання математичного моделювання систем промислового водопостачання отримані результати розподілу води для питного використання водних ресурсів. Система розподілу води дозволяє проводити проєктування резервуарів до систем водопостачання, що сприяє покращенню гідравлічних характеристик, які залежать від перепадів тиску, зменшення або відсутності води в системі водопостачання, що дозволяє враховувати «форсмажорні» обставини при експлуатації водопостачання [2].

Імітаційне моделювання, яке використовується як для стаціонарних і динамічних умов, дозволяє використовувати його до різних комбінацій руху водного потоку, хімічних реакцій, які в них відбуваються, кінетики протікання технологічних процесів та ін. [3].

В роботі наведено результати еколого-безпечних методів оброблення стічних вод, які проводять з урахування початкової вологи з використанням активованого вугілля. При застосуванні приладу атомно-адсорбційної спектрометрії та ін. технологічного обладнання отримано мікропористі характеристики, які наочно свідчать про ефективність використання комбінованих адсорбентів для видалення  $Cu$ ,  $Pb$  і  $Cr$ , які входять до складу промислових стічних вод. Використання комбінованих адсорбентів, які задовольняються по ціновій політиці, легкодоступні і ефективні при видаленні  $Cu$ ,  $Pb$  й  $Cr$ , сприяють використанню еколого-безпечних методів оброблення стічних вод [4].

З розвитком нових технологій існуючі установки очищення стічних вод повинні бути переглянуті, щоб зробити їх більш ефективними і знизити навантаження на них в даний час. Найбільш ефективним є використання мобільних установок, які проєктуються з урахуванням потужності очисних споруд. Таким чином, існує гостра необхідність в розробці і впровадженні новітньої методології



проектування для визначення і видалення шкідливих домішок з джерел води [5].

Авторами запропоновано створення моделей водорозподільних мереж, які широко використовуються в різних галузях науки і техніки. Для цього використано розширення програмне забезпечення, яке дозволяє обробляти незначні об'єми вхідних параметрів (витрати води), що створює умови для визначення діаметрів трубопроводів, конфігурацію для планування подальшої роботи водопідвідних мереж [6].

Розглянуто використання реакторів-концентраторів біомаси як альтернатива технології очищення стічних вод, яке посилюється з використанням електричного поля при різних органічних навантаженнях з використанням кисню, що сприяє більш енергоємній тенденції до забруднення в порівнянні з контрольним реактором. При комбінованому обробленні стічних вод електричним струмом, оптимальному застосуванні хімічного споживання кисню підвищується ефективність оброблення стічних вод і отримання оптимальних затрат електричного струму [7].

Успіхи, досягнуті в останні роки в сфері використання обчислювальної техніки, математичного моделювання та методів оптимізації, відкривають нові можливості для здійснення високоефективної автоматизації робіт з проектування і моделювання елементів трубопроводів промислового водопостачання. Авторами розглянуто можливості комп'ютерного моделювання для використання фахівцями різних будівельних спеціальностей, що значно розширює вирішення інженерних задач і завдань, які враховують комплексний підхід. Наприклад, в будівельних спорудах розглянуто прокладання інженерних комунікацій – систем водопостачання, теплових мереж та ін. [9].

Розглянуто застосування системи КОМПАС-2D та КОМПАС-3D з метою пошуку оптимальної будівельної конфігурації, що використовується здобувачами освіти будівельної спеціальності. Переваги, які визначені, при використанні системи КОМПАС в будівельній конфігурації, можливо застосовувати в інших інженерних розробках: для автоматизованого проектування в будівництві, пошуку раціонального розташування об'єктів подачі води, тепла та ін. із окремими споживачами або між розподільниками [10].

Перспективним напрямком є використання моделювання в інженерній геодезії, в якому наочно використовуються моделі не лише в площині, а й у просторі і використовуються об'ємні тривимірні моделі у форматі 3D моделювання [9].

З наведеного огляду літературних джерел за обраним напрямком досліджень необхідно відзначити наступне. Як правило, математичне програмування використовується для моделювання



об'єктів із значними, суттєвими витратами, наприклад, води для систем водопостачання, або використання окремих реагентів чи комплексу хімічних речовин, що використовуються в системах підготовки та використання води.

Переважає більшість розроблених математичних моделей вирішує суто технічні задачі й завдання. В яких не передбачено вирішення еколого-економічних питань. Таких, як наприклад, зменшення капітальних витрат, зниження рівня антропогенного навантаження та ін.

При цьому не використовується моделювання для всього технологічного обладнання або для окремих елементів або складових будь-яких технологічних операцій чи процесів. Тому використання сучасних методів математичного моделювання, у поєднанні з програмуванням й прогнозуванням, вирішує низку важливіх взаємопов'язаних інженерно-технічних задач і завдань водогосподарського комплексу країни. Насамперед, пошук оптимальних рішень, спрямованих на забезпечення екологічної безпеки водних об'єктів країни.

*Формулювання цілей статті (постановка завдання).* Моделювання елементів і складових одиниць в системах промислового водопостачання визначає мету наукових досліджень, яка є основою для вирішення декількох взаємопов'язаних задач і завдань.

Використання сучасних технічних і технологічних рішень, спрямованих на підвищення рівня проектування, розроблення нових і удосконалення існуючих інженерних розробок, ставить за мету виконання декілька взаємопов'язаних задач і завдань.

Насамперед, це стосується забезпечення більш високого рівня проектування окремих елементів і складових одиниць, при розробленні нових і удосконаленні існуючих розробок.

Крім вирішення суто інженерних задач й завдань, сучасні засоби моделювання дозволяють зменшити еколого-економічне навантаження на водні об'єкти за рахунок попередження й зменшення невиробничих витрат для будь-якої системи водопостачання.

*Основні матеріали дослідження.* Згідно обраного напрямку досліджень, інтенсифікація систем оборотного водопостачання при розробленні окремих елементів та складових одиниць, проектування з використанням сучасних напрямків моделювання, розроблено низку інженерно-технічних рішень у наступних напрямках:

- основне обладнання в системах спеціальної водопідготовки, оброблення стічних вод окремих підприємств: фільтр-сепаратор, роздільний, коаксіальний та ін.;

- допоміжне і основне обладнання в системах спеціальної водопідготовки і водокористування: змішувачі, апарат-змішувачі

різного конструктивного виконання;

- допоміжне обладнання: ущільнювачі, що використовуються на заключних етапах оброблення рідинних відходів систем промислового водовикористання.

Загальна блок-схема функціональних зв'язків між окремими елементами і складовими одиницями наведена на рис.1.



Рис. 1. Блок-схема функціональних зв'язків між окремими елементами і складовими одиницями структурного моделювання

В системах оборотного промислового водопостачання важливою складовою ланкою є використання реагентів при обробленні стічних вод, нейтралізації шкідливих речовин, вилученні цінних та/або шкідливих компонентів та ін. Зокрема змішувачі стічних вод, за різним конструктивним виконанням, є важливим джерелом впливу на процес використання води в промисловому секторі країни.

При змішуванні водних розчинів і реагентів, які відповідають сучасним умовам інтенсифікації в системах промислового водопостачання, використовується низка розроблених інженерно-технічних рішень. Наприклад, в апараті для змішування водних розчинів застосовано змішувач із коаксіальними ємностями, який

дозволяє забезпечити більш повне розчинення компонентів реагенту у водному розчині [8, с. 3-5, 6].

Крім того, розроблення й впровадження мобільних засобів з підвищенням рівня інтенсифікації використовується в наслідок певної низки переваг. По-перше, впровадження мобільних засобів і комп'ютерного моделювання суттєво прискорює процес створення кінцевого продукту. По-друге, дають змогу людині успішніше й швидше адаптуватися до нових технічних розробок і технологій. І, на кінець, активне й ефективно впровадження цих технологій у виробництво є важливим чинником вирішення певних завдань, які відповідають сучасним умовам інтенсифікації в системах промислового водопостачання.

Одним із головних елементів змішувачів водних розчинів є камери змішування. Їх використання при очищенні стічних вод промислових підприємств потребує обґрунтованого вибору оптимальної конфігурації і форми (рис. 2, а і б).

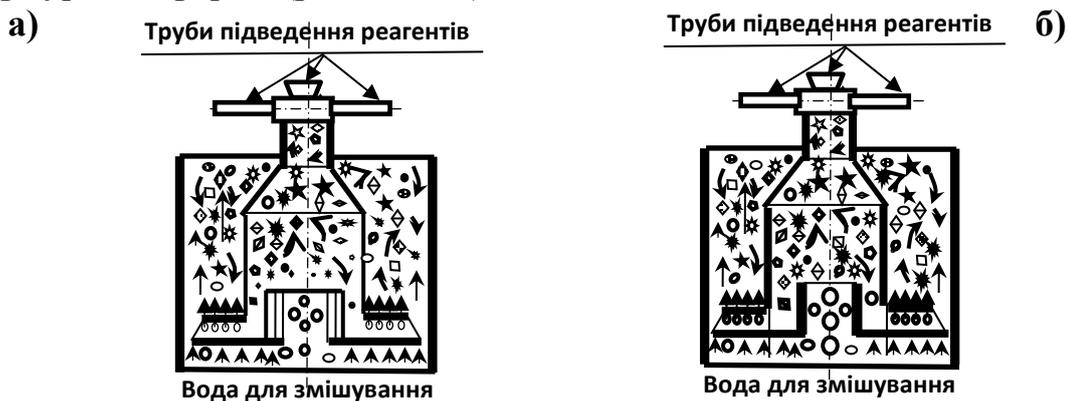


Рис. 2. Змішувач водних розчинів і реагентів з трьома (а) і двома (б) циркуляційними патрубками

Оптимальне співвідношення розмірів між головними камерами наочно довело, що використання моделі, наприклад, апарат-змішувача водних розчинів (рис. 3), забезпечує швидкість і легкість в процесі внесення змін і коригувань в моделі. До одної з найголовніших переваг даної технології відноситься й автоматичне формування креслень при оформленні технічної та технологічної документації.

Однім із напрямків оптимізації геометричних розмірів і забезпечення ефективності підготовки реагентів є моделювання й розроблення конструкцій з тривимірних технологій (рис. 3, а, б і в).

Розроблені моделі окремих елементів і апаратів змішування із застосуванням сучасних тривимірних технологій дозволяють наочно поглянути на об'єкт досліджень, скоротити час на підготовлення й випробування в промислових умовах і забезпечити ефективність перемішування реагентів у разі, коли виконується операція використання реагентів в системах оборотного водопостачання.

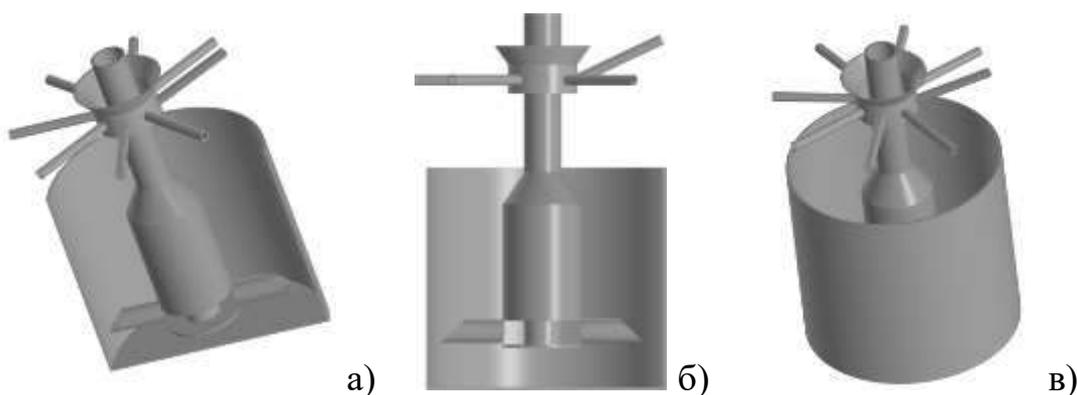
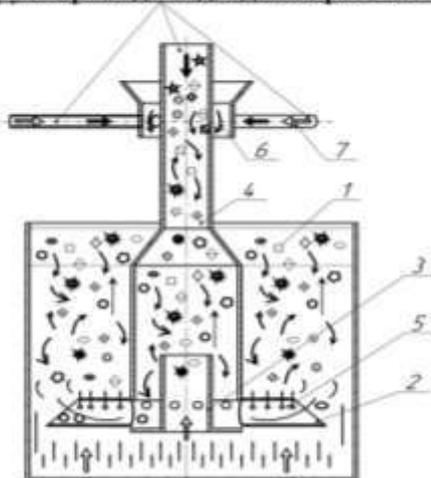


Рис. 3. Апаратне оформлення моделювання змішувача водних розчинів – корпусних деталей:

а – модель апарат-змішувача із повздовжнім вертикальним розрізом; б – загальний вигляд моделі апарат-змішувача водних розчинів із вертикальним розрізом корпусу відносно вертикальної осі; в – модель апарат-змішувача, повернутого верхньою площиною під кутом до вертикальної осі.

Трубопроводи підведення реагентів



Вода для змішування

- 1 – корпус;
- 2 – променеві перфоровані труби відведення суміші;
- 3 – циркуляційний патрубок;
- 4 – патрубок подачі реагенту;
- 5 – отвір для виходу реагенту;
- 6 – камера змішування реагенту;
- 7 – трубопроводи тангенційного підведення реагентів.

Рис. 4. Змішувач водних розчинів і реагентів в системах оборотного водопостачання:

Тривимірні технології сьогодні широко використовуються в найрізноманітніших галузях. Високо деталізована 3D-модель – це не просто можливість поглянути на об'єкт без його реального виготовлення [5]. Відомі конструкції апаратів для змішування водних розчинів і реагентів [3, 4, 5]. Для кращого уявлення конструкції змішувача і процесів, що протікають у водних розчинах, дуже корисним буде використання сучасного 3D-моделювання, яке наочно представлено нарис. 3, а, б і в.

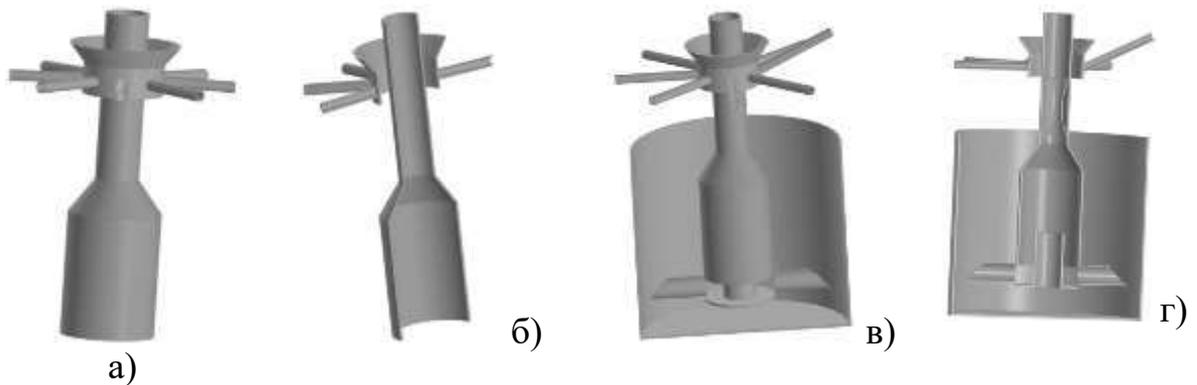


Рис. 5. Моделювання апарата змішувача водних розчинів: а – за пат. № 132976; б, г – апарата за пат. № 137138; в – апарата за пат. № 122533

Використання моделювання окремих елементів (рис. 5, а, б) та апарат-змішувачів (рис. 5, в, г) у цілому дозволить скоротити стадії проектування, спростити пошук відповідних технологічних операцій, забезпечити надійність і ефективність підготовки реагентів в системах оборотного водопостачання.

Створення одиночного тіла починається з побудови одного тіла простої форми (прямокутна призма, сферичне тіло, циліндричне тіло, конічне тіло тощо) (рис. 6) або побудови тіла на базі поверхонь (тіло видавлювання, тіло обертання) або побудови тіла на базі ліній.

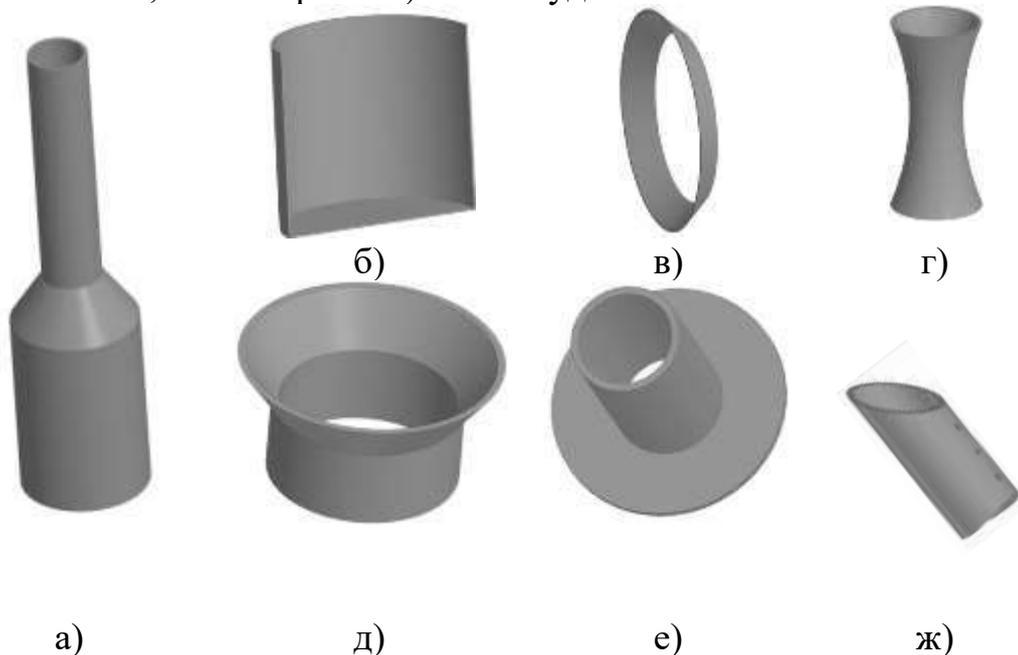


Рис. 6. Окремі елементи апарат-змішувачів

Сучасне програмне забезпечення дозволяє використовувати незалежно від алгоритму моделювання різноманітні підходи для побудови моделі.

Моделювання за допомогою простих геометричних фігур правильної форми (циліндри, тори, конуси тощо) використовується як цеглинка при побудові складніших об'єктів – корпусів, патрубків, камер. Перевагою методу є швидка та легка побудова, а також те що



моделі є математично визначені і точні. Добре підходить до технічного моделювання, зокрема апаратів змішувачів водних розчинів, які мають певні розрахункові розміри.

Для створення моделі застосовується також переміщення (якщо поверхня грана) або обертання (якщо поверхня обертання) плоских контурів. В результаті переміщення плоского контуру утворюється об'ємне тіло – модель, що є проекцією основи моделі. Ці операції дозволяють змінювати параметри побудови, а отже і самої моделі. В контур можна скопіювати зображення з раніше створеного кресленника або фрагмента.

Побудова моделі починається зі створення ескізу основи за розрахованими розмірами. Далі вибирається команда обертання або видавлювання і створюється об'єкт – 3Dмодель. З об'ємної моделі створюється кресленник. Можливості програми дозволяють будувати автоматично проекції всіх видів і аксонометрію деталі по її готовій моделі.

При необхідності змінити розміри одного елементу апарата змішувача водних розчинів, наприклад, форму та розмір отвору для виходу реагенту у трубі (рис. 6, ж), вносяться зміни тільки в модель цього елемента. Надалі програма сама внесе зміни і перебудує модель апарата змішувача. Це значно скорочує процес моделювання змішувачів водних розчинів зі схожими конструкціями.

Найбільш зручним для створення моделей змішувачів водних розчинів є твердотільне моделювання. Тривимірною моделлю апарат-змішувача із застосуванням сучасних технологій виглядає більш ніж реалістично. Види, перерізи, розрізи моделі, анімація дають можливість наочно уявити процеси, які відбуваються при змішуванні водних розчинів і реагентів в середині обладнання з урахуванням матеріалів елементів.

Створення твердотільних моделей як ніколи сьогодні актуально. Твердотільне моделювання дає змогу швидко створювати об'єкт і так само швидко редагувати його. Швидкість моделювання позитивно впливає на швидкість повернення вкладених інвестицій, що досить важливо при оптимізації кількісного і якісного складу води в системах оборотного водопостачання.

*Висновки.* Збільшення вартості на воду, енергоносії та ін. витратні матеріали, потребує ретельного ставлення до проєктування, розроблення і подальшого удосконалення окремих елементів щодо їх моделювання з використанням сучасних технологій.

Серед основних висновків необхідно відзначити наступне.

1. Для надійної і ефективної роботи технологічного обладнання необхідно виконати всі складові одиниці з використанням 3D-моделювання, яке дозволить вже на попередньому етапі звести до





мінімуму витрати руху водного потоку в середині обладнання.

2. Відношення гідродинамічних умов і характеристик водного потоку в середині технологічного обладнання не повинно перевищувати ламінарний режим руху на будь-якому етапі течії рідинного середовища.

3. Найбільш перспективним використанням 3D-моделювання, окремих елементів і складових одиниць є виконання конструктивних елементів, які не лише технологічно, а й функціонально спрямовані на зменшення гідравлічних опорів.

#### Список використаних джерел

1. Степаненко Д.С., Тарусова Н.В., Мацюра О.В., Данченко О.О. Моделювання та прогнозування стану довкілля: навч. посіб. Мелітополь: МДПУ, 2011. 180 с.

2. Petr Ingeduld, Ajay Pradhan, Zdenek Svitak, Ashok Terrai DHI a.s.. *Prague, Czech Republic, Modelling Intermittent Water Supply Systems with EPANET. Conference: Eighth Annual Water Distribution Systems Analysis Symposium (WDSA), March 2008. DOI:10.1061/40941(247)37.*

3. Alemtsehay G. Seyoum & Tiku T. Tanyimboh. Integration of Hydraulic and Water Quality Modelling in Distribution Networks: EPANET-PMX. *Water Resources Management*, 2017. Vol. 31, pp. 4485–4503 ().

4. Fayomi O. S. I. Olukanni D. O., Fayomi G. U., Joseph, O. O. In situ assessment of degradable carbon effusion for industrial waste water treatment, *Cogent Engineering*. 2017. Vol. 4, № 1. DOI:10.1080/23311916.2017.1291151.

5. Advanced Design of Wastewater Treatment Plants: Emerging Research and Opportunities. 2019. 350 p. DOI: 10.4018/978-1-5225-9441-3.

6. WaterNetGen: an EPANET extension for automatic water distribution network models generation and pipe sizing / J. Muranho et al. *Water Supply*. 2012. Vol. 12, № 1. P. 117–123. DOI:10.2166/ws.2011.121.

7. Cecconet D, Salè E. O., Callegari A., Capodaglio A. G.. Wastewater treatment with a new electrically enhanced biomass concentrator reactor: trial application and technological perspectives. *Environmental Technology*. 2019. Vol. 40, № 7. P. 896-902. DOI: 10.1080/09593330.2017.1410581.

8. Апарат для змішування водних розчинів і дозування реагентів: патент 132976 Україна: МПК (2019.01) B01 F5/00, C02 F1/46 (2006.01), C02 F103/02 (2006.01). № и 2018 07994; заявл. 18.07.2018; опубл. 25.03.2019, Бюл. № 6.

9. Дереза О. О. Моделювання елементів трубопроводів. *Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання:*



матеріали XI наук.-практ. конф., (м. Дніпрорудне, 02 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 68–72.

10. Тарасюк І. О. Впровадження системи КОМПАС-3D для здобувачів освіти будівельної спеціальності. *Технології та еколого-економічні рішення в сучасних умовах господарювання*: матеріали XI наук.-практ. конф., (м. Дніпрорудне, 02 липня 2020 р.). Дніпрорудне, 2020. С. 95–98.

11. 3D-моделювання місцевості та об'єктів. URL: <https://skb25.com.ua/services/3d-modeli-mestnosti-i-obektov/> (дата звернення: 20.10.2020).

### МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ І СКЛАДОВИХ ОДИНИЦЬ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Мовчан С.І., Дереза О.О., Дереза С.В.

#### *Анотація*

Розглянуто питання моделювання окремих елементів і складових одиниць, яке використовується в системах водопостачання. Системи господарсько-питного водопостачання, системи оборотного й повторно-обігового використання води є важливою галузю водогосподарського комплексу країни. Від раціонального вибору гідавличних параметрів і характеристик трубопроводів, запірно-регулюючої арматури, напірно-регулюючих споруд і резервуарів залежить надійна і безперебійна робота будь-якої системи.

Вирішення багатьох задач і експлуатаційних характеристик в роботі систем водопостачання можливо передбачити вже на стадії проектування з використанням сучасних засобів і методів програмування, моделювання і прогнозування.

Саме моделювання окремих елементів і складових одиниць систем водопостачання вирішить не лише практичну задачу продовження строку експлуатації вищезначених систем, а й дозволить оптимізувати економічні показники при експлуатації переважної більшості систем використання і розподілення води на об'єктах водогосподарського призначення.

**Ключові слова:** системи оборотного водопостачання, гідавличний опір, змішувач водних розчинів, 3D-моделювання, твердотільне моделювання.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И СБОРОЧНЫХ ЕДИНИЦ В СИСТЕМАХ ОБОРОТНОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Мовчан С.И., Дереза Е.А., Дереза С.В.

#### *Аннотация*

Рассмотрены вопросы моделирования отдельных элементов и сборочных единиц, которое используется в системах водоснабжения. Системы хозяйственно-питьевого водоснабжения, системы оборотного и повторно-обігового использования воды является важной отраслью водохозяйственного комплекса страны. От рационального выбора гидравлических параметров и характеристик трубопроводов, запорно-регулирующей арматуры, напорно-регулирующих сооружений и резервуаров зависит надежная и бесперебойная работа любой системы.

Решение многих задач и эксплуатационных характеристик в работе систем водоснабжения возможно предусмотреть уже на стадии проектирования с



использованием современных средств и методов программирования, моделирования и прогнозирования.

Именно моделирования отдельных элементов и сборочных единиц систем водоснабжения решит не только практическую задачу продления срока эксплуатации вышеуказанных систем, но и позволит оптимизировать экономические показатели при эксплуатации подавляющего большинства систем использования и распределения воды на объектах водохозяйственного назначения.

**Ключевые слова:** системы обратного водоснабжения, гидравлическое сопротивление, смеситель водных растворов, 3D-моделирование, твердотельное моделирование.

## **SIMULATION OF ELEMENTS AND COMPONENT UNITS IN REVERSE WATER SUPPLY SYSTEMS**

**Movchan S., Dereza O., Dereza S.**

### *Summary*

The issue of modeling of separate elements and constituent units, which is used in water supply systems, is considered. Systems of economic and drinking water supply, systems of circulating and repeated water use are an important branch of the water management complex of the country. Reliable and uninterrupted operation of any system depends on a rational choice of hydraulic parameters and characteristics of pipelines, shut-off and regulating fittings, pressure-regulating constructions and tanks.

The solution of many problems and operational characteristics in the work of water supply systems can be predicted at the design stage using modern tools and methods of programming, modeling and forecasting.

It is the modeling of individual elements and components of water supply systems that will solve not only the practical problem of extending the service life of the above systems, but also allow optimizing economic performance in the operation of the vast majority of water use and distribution systems.

Increasing the cost of water, energy and other consumables requires careful attention to the design, development and further improvement of individual elements for their modeling using modern technologies.

The most convenient for creating models of mixers of aqueous solutions is solid modeling. Types, sections, sections of the model, animation provide an opportunity to visualize the processes that occur when mixing aqueous solutions and reagents in the middle of the equipment.

Creating solid models is more important than ever today, as it allows you to quickly create an object and edit it just as quickly. The speed of modeling has a positive effect on the rate of return on investment, which is very important in optimizing the quantitative and qualitative composition of water in circulating water supply systems.

**Keywords:** circulating water supply systems, hydraulic resistance, mixer of aqueous solutions, 3D modeling, solid modeling.



УДК 621.7.04

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-13

## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Паніна В. В.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-9623-516X

Дідур В. В.<sup>2</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-7584-5073

Сірий І. С.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-5943-7213

Чорна Т. С.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID-0000-0002-1439-9636

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

<sup>2</sup>Уманський національний університет садівництва м. Умань, Україна  
e-mail: [valeriia.panina@tsatu.edu.ua](mailto:valeriia.panina@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* Відновлення деталей - технічно обґрунтований та економічно виправданий захід. Відновлення деталей дає змогу ремонтним та експлуатаційним підприємствам скорочувати час простою несправних машин, підвищувати якість їх технічного обслуговування та ремонту; позитивно впливає на поліпшення показників надійності і використання машин. Економічна сторона виконання робіт по відновленню деталей полягає в зниженні собівартості ремонту як агрегатів, так і машин за рахунок скорочення витрат на нові запасні частини, а також у скороченні виробничих витрат при експлуатації машин у господарствах. Вартість запасних частин становить значну частину в собівартості капітального ремонту машин, яка досягає 48-70%, зростаючи, як правило, із підвищенням конструкційної складності машин [1]. Це дає можливість знизити собівартість ремонту машин за рахунок скорочення цієї статті витрат шляхом відновлення деталей, що були в роботі.

*Аналіз останніх досліджень.* В більшості випадків руйнування деталей машин, обладнання, апаратів і елементів конструкцій розпочинається з поверхні (зношування, втома, контактні руйнування та ін.). Тому в багатьох випадках надійність та довговічність виробів залежить від якості, міцності та структурно-напруженого стану металу поверхневого шару деталей. За останні роки з'явилося багато нових способів дій на стан та якість твердих тіл, знайшли розвиток і широко застосовуються на практиці способи, які отримали назву технологічних методів поверхневого зміцнення. В основі багатьох із них лежить пластична або термопластична деформація металу відносно тонких поверхневих об'ємів при зберіганні незмінної серцевини [2, 3]. При обробці деталей поверхнево-пластичною деформацією (ППД) в



поверхневому шарі деталі відбуваються незворотні пластичні деформації, результатом яких є зміцнення поверхневого шару, а також формування залишкових напружень. Ці показники якості поверхневого шару переважно визначаються на основі проведення експериментальних досліджень [4]. Дослідженнями в області обробки деталей ППД займалися А. А. Дудніков, О. В. Нахайчук, П. Ю. Волосевич, С. А. Зайдес та інші вчені. Досвідним шляхом встановлено, що ППД дозволяє сформувати зміцнений поверхневий шар з такими показниками якості: глибина зміцнення 0,1...15 мм, збільшення твердості зміцненого шару до 20...150%, величини стискаючих напруг на рівні 200...1400 МПа [2]. Технологічна якість деталей машин залежить насамперед від виду кінцевої обробки і застосовуваних технологічних параметрів.

*Формулювання цілей статті.* Сьогодні велика увага приділяється використанню у народному господарстві вторинних матеріальних ресурсів, також, спостерігається тенденція впровадження новітніх технологій для ремонту сільськогосподарської техніки, які дозволяють більш раціонально використовувати засоби виробництва та економити кошти господарства, тому створення ресурсозберігаючого способу актуально.

*Основна частина.* Для здійснення пластичної деформації поверхневого шару деталей при динамічному методі зміцнення застосовують наступні технології: дробоструминний наклеп, який здійснюється струменем сталевोї або чавунної дробі; чеканка, здійснюється спеціальними бійками, які наносять багаточисельні удари; наклеп ротаційним зміцненням, які викликають багаточисельні упорядковані удари шариками або роликками, розташованими по периферії дисків, що обертаються; гідроабразивний наклеп, який здійснюється струменем рідини, яка має абразиви різноманітної зернистості; безабразивна ультразвукова фінішна обробка [5-8].

*Дробоструминний наклеп* викликає порівняно неглибоке проникання пластичної деформації в поверхні, що оброблюється (до 0,5-0,7 мм) і застосовується для невеликих за розмірами деталей складних форм (гвинтових пружин ресори, шестерні та ін.). Дробоструминний наклеп здійснюється сталеву або чавунною дробом на спеціальних установках. Ресори, напіввісі, пружини, цапфи після поверхневого наклепу підвищується строк експлуатації в 2-3 рази [9-11]. Сухий метод, порівняно з застосуванням скляних кульок з водою, дозволяє отримати кращу чистоту поверхні та звести до мінімуму корозію. Дробоструменева обробка застосовується для серійних деталей, і режими обробки встановлюють експериментальним підбором. Поверхня деталі повинна бути повністю покрита слідами-



вм'ятинами. Діапазон твердості деталей, які підлягають дробеструменевому зміцненню, практично не обмежений.

*Чеканка.* Чеканка спеціальними бійками виконується ударною дією на поверхню, яка зміцнюється [6]. Ефективність такого наклепу для підвищення стомлюючої міцності досягає значних меж. В теперішній час існують конструкції пружинних ударників, які працюють від кулачкового валика. Ці механічні чеканочні пристосування застосовуються для зміцнення циліндричних і плоских поверхонь.

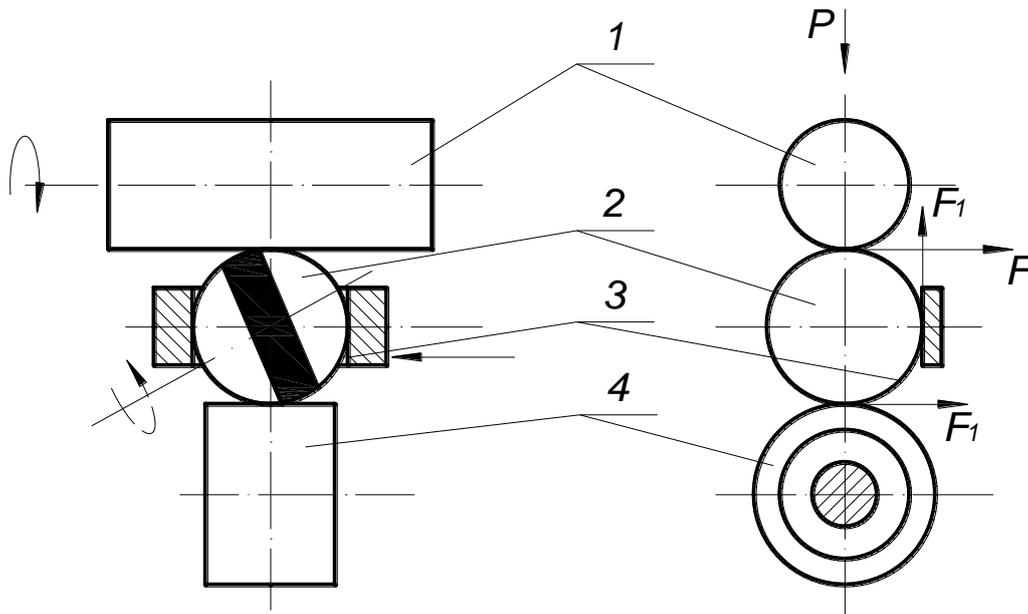
*Гідроабразивний наклеп* здійснюється одночасно з гідрополіруванням поверхні. Струмін рідини, який має абразиви, під тиском направляється на поверхню, що оброблюється. Конструкції установок для гідроабразивної обробки по способу подачі рідини можна розділити на дві групи: подача рідини самотічно або засмоктування її стиснутим повітрям; подача рідини до форсунок під тиском насосу [10]. Гідроабразивні методи обробки застосовуються у тих випадках, коли можна обмежитися невеликою глибиною наклепаного шару і отримати високу шорсткість поверхні.

*Безабразивна ультразвукова фінішна обробка.* Перевага технології полягає у тому, що її використання дозволяє перетворювати верстати в багатоопераційні, а шорсткість поверхні значно знизити. Суть методу в тому, що частота електричного струму перетворюється із 50 Гц в 22 кГц завдяки перетворювачу частоти електричного струму, а потім електричні коливання перетворюються в механічні і передаються на робочий орган який здійснює наклеп [9].

*Обкатка роликками або кульками.* Незважаючи на те, що цей метод обробки тиском давно застосовується в промисловості і досить широко освітлений в технічній літературі, умови його використання недостатньо вивчені, що в свою чергу робить його застосування мало ефективним. Роликові обкатники поділяються на пристрої пружної дії та жорсткої, одно- і багато роликові; з нерегульованим роликком і роликком, положення якого відносно заготовки регулюється, з циліндричними і конічними роликками.

Вібронакатування поверхонь знижує схильність до утворення задирів за рахунок більшої маслоємності поверхні. Зношування робочих поверхонь після зміцнюючої обробки в період припрацювання менше в 1,1-1,8 рази, в період експлуатації – менший у 2 рази. Поверхневий шар, розкатаний при оптимальних режимах, має підвищену на 18-27% мікротвердість [12]. Вирішальним фактором, який визначає техніко-економічні показники обкатування роликками є правильний вибір схеми і параметрів обкатки [13-15].

Схема обкатування кулькою зовнішньої циліндричної поверхні зображена на рис. 1.



1 – заготовка; 2 – куля; 3 – сепаратор; 4 – опорний шарикопідшипник  
Рис. 1. Схема обкатування кулькою зовнішньої циліндричної поверхні

Велике число конструктивних варіантів обкатних пристроїв та кінематичних схем обкатування ускладнюють задачу технолога при визначенні оптимального варіанта, але накоплений виробничий досвід і результати досліджень в теперішній час дозволяють установити область рентабельного використання кожного із них.

Вказані методи ППД забезпечують підвищення зносостійкості, опір втомі, контактної витримки та інших експлуатаційних властивостей деталей що оброблюються на 20-50%, а в деяких випадках – в 2-3 рази (при умові вибору в кожному конкретному випадку найбільш раціонального методу і призначенні оптимальних режимів обробки).

В ряді з забезпеченням високої якості поверхні ППД в багатьох випадках дозволяє механізувати ручний труд та підвищити продуктивність на кінцевих операціях. Збільшення твердості і міцності металу поверхневим наклепом, а також ріст опорної поверхні при обкатуванні роликami [16] дозволяють розглядати його як один з ефективних способів підвищення працездатності і, зокрема, зносостійкості деталей машин.

При терті зі змащенням велике значення має здатність третьових поверхонь зберігати під навантаженням масляну плівку, що запобігає виникненню осередків безпосереднього контакту металевих поверхонь. Результати багатьох досліджень [6, 12, 14, 17-20] показують, що обкатані поверхні володіють підвищеною несучою здатністю. Навантаження заїдання обкатаних сталевих і чавунних



роликів у парі зі сталевими обоймами в середньому на 20% вище, ніж шліфованих. У випадку перенаклепу поверхні деталі її знос зростає.

*Висновки.* Таким чином дослідження показують, що більшість методів ППД не тільки знижують параметр шорсткості в 5-10 разів, але і створюють сприятливу для зносостійкості форму мікронерівностей, яка ближче, ніж при інших методах кінцевої обробки, до форми мікронерівностей, що створюються після припрацювання. Це підвищує зносостійкість та скорочує період прироблення.

Список використаних джерел.

1. Техническое обслуживание и ремонт машин в с/х.: учебное пос. / В. И. Черноиванов и др. Москва-Челябинск: ГОСНИТИ-ЧГАУ. 2003. 992 с.

2. Смелянский В. М. Механика упрочнения деталей поверхностным пластическим деформированием. М.: Машиностроение, 2002. 300 с.

3. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158 с.

4. Особенности формирования глубины упрочнения при обработке деталей поверхностным пластическим деформированием / Я. Н. Отений та ін. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016. № 12(3). С. 452-455.

5. Особенности пластической деформации малоуглеродистой стали под влиянием комбинированного нагружения кручением с растяжением 14 / Е. Г. Пашинская и др. *Инженерна механіка: наукові нотатки*. Луцьк, 2009. Вип. 25, ч. II. С. 182-189.

6. Alcalá J., Barone A. C., Anglada M. The influence of plastic hardening on surface deformation modes around vickers and spherical indents. *Acta Materialia*. 2020. vol. 48. pp. 3451-3464.

7. Ежелев А. В., Бобровский И. Н., Лукьянов А. А. Анализ способов обработки поверхностно-пластическим деформированием. *Фундаментальные исследования*. 2012. № 6(3). С. 642-646.

8. Зайдес С. А. Новые способы поверхностного пластического деформирования при изготовлении деталей машин. *Вестник МГТУ им. Г. И. Носова*. 2018. Т.16. № 3. С. 129-139.

9. Пластическая деформация в ультразвуковом поле и ее возможности применительно к насыщению углеродом поверхностных слоев образцов железа / П. Ю. Волосевич и др. *Металлофизика и новейшие технологии*. 2003. Т. 25. Вип. 5. С. 679-692.

10. Singh B., Singh G. A review on parametric analysis of surface roughness during turning of different types of steel. *National conference on*





*advances in mechanical, industrial & materials engineering*. 2019. pp. (1)-(10).

11. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling / O. Novyk et al. *Modern Development Paths of Agricultural Production. Trends and Innovations: Conference proceedings* / Tavria State Agrotechnological University. 2019. Ч. 1. С. 177-182.

12. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Триботехніка» для здобувачів ступеня вищої освіти «Магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» / Д. П. Журавель та ін. Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 112 с.

13. Паніна В. В., Дашивець Г. І. Спосіб відновлення гільз циліндрів з використанням ФАБО. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*: електрон. наукове фах. видання / ТДАТУ. Мелітополь, 2015. Вип. 5, т. 1. С. 134-139.

14. Паніна В. В., Чорна Т. С. Альтернативний спосіб відновлення гільз циліндрів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету імені Дмитра Моторного*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, том 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-23.

15. Chen X. Corrective Abrasive Polishing Processes for Freeform Surface. *Key Engineering Materials*. 2009. vol. 404. pp. 103-112. DOI: 10.4028/www.scientific.net/KEM.404.103.

16. Lu K., Lu J. Nanostructure surface layer on metallic materials induced by surface mechanical attrition treatment. *Materials Science and Engineering: A*. 2004. № 373. P. 38-45.

17. Gradient structure formation by severe plastic deformation / M. Danylenko et al. *Nanomaterials by Sever plastic deformation*: Proc. of the 3th Internat. conf. on Nanomaterials by Severe Plastic Deformation held, September 22-26, 2005. P. 787-792.

18. Nepershin R. I. Surface Plastic Deformation by Sliding Elliptical Cylinder. *Journal of Materials Science and Chemica* 2015. Vol. 3 №.1 . С. 1-7.

19. Поверхностное упрочнение изделий сложной формы с использованием комплексных схем деформирования / С. А. Фирстов и др. URL: <http://www.materials.kiev.ua/publications/EMMM/2013/3.pdf>.

20. Тамаркин М. А., Тищенко Э. Э., Лебеденко В. Г. Повышение качества поверхностного слоя деталей при обработке поверхностным пластическим деформированием в гибких гранулированных средах. *Вестник ДГТУ*, 2009. №3 (42). С.213-224.



## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

В.В. Паніна, Дідур В.В., І.С. Сірий, Т.С. Чорна

### *Анотація*

В статті розглядаються існуючі технології зміцнення поверхневого шару деталей з застосуванням поверхнево-пластичної деформації: дробоструминний наклеп; чеканка; гідроабразивний наклеп; безабразивна ультразвукова фінішна обробка; обкатка роликками або кульками. Розглянуті в статті методи поверхневої пластичної деформації забезпечують підвищення зносостійкості, опір втомі, контактної витримки та інших експлуатаційних властивостей деталей що оброблюються на 20-50%, а в деяких випадках – в 2-3 рази (при умові вибору в кожному конкретному випадку найбільш раціонального методу і призначенні оптимальних режимів обробки). Збільшення твердості і міцності металу поверхневим наклепом, а також ріст опорної поверхні при обкатуванні роликками дозволяють розглядати його як один з ефективних способів підвищення працездатності і, зокрема, зносостійкості деталей машин.

**Ключові слова:** поверхневий шар, метод зміцнення, поверхнево-пластична деформація, мікронерівності, підвищення працездатності.

## УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПОВЕРХНОСТНО-ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

В. В. Панина, В. В. Дидур, И. С. Серый, Т. С. Черная

### *Аннотация*

В статье рассматриваются существующие технологии упрочнения поверхностного слоя деталей с применением поверхностно-пластической деформации: дробеструйный наклеп; чеканка; гидроабразивный наклеп; безабразивная ультразвуковая финишная обработка; обкатка роликками или шариками. Рассмотренные в статье методы поверхностной пластической деформации обеспечивают повышение износостойкости, сопротивление усталости, контактной выдержке и других эксплуатационных свойств, обрабатываемых деталей на 20-50%, а в некоторых случаях – в 2-3 раза (при условии выбора в каждом конкретном случае наиболее рационального метода и назначения оптимальных режимов обработки). Увеличение твердости и прочности металла поверхностным наклепом, а также рост опорной поверхности при обкатке роликками позволяют рассматривать его как один из эффективных способов повышения работоспособности и, в частности, износостойкости деталей машин.

**Ключевые слова:** поверхностный слой, упрочнение, поверхностно-пластическая деформация, микронеровности, повышение работоспособности.

## STRENGTHENING OF DETAILS BY SURFACE-PLASTIC DEFORMATION

V. Panina, V. Didur, I. Sieryi, T. Chorna

### *Summary*

The article considers the existing technologies for strengthening the surface layer of parts using surface-plastic deformation: shotgun slander, which is carried out by a jet of steel or cast iron shot; processing is carried out by special fights which inflict numerous blows; defatation by rotational hardening, which causes numerous ordered blows by



balls or rollers located on the periphery of rotating disks; hydroabrasive slander is carried out by a stream of liquid, which has abrasives of various granules; non-abrasive ultrasonic finishing allows you to turn machines into multi-operational, and significantly reduce surface roughness; treatment with rollers or balls reduces the tendency to the formation of burrs due to the greater oil content of the surface. Studies show that most methods of surface-plastic deformation not only reduce the roughness parameter by 5-10 times, but also create a favorable for wear resistance form of micro-irregularities, which is closer than with other methods of finishing, to the form of micro-irregularities created after running-in. The methods of surface plastic deformation considered in the article provide increase of wear resistance, fatigue resistance, contact exposure and other performance properties of parts processed by 20-50%, and in some cases – 2-3 times (provided the choice in each case by the nearest rational method and certain optimal modes of blocks). Along with ensuring high surface quality, surface-plastic deformation in many cases allows mechanizing manual labor and increase productivity in the final operations. Increasing the hardness and strength of the metal by surface hardening, as well as the growth of the bearing surface when running in rollers allow us to consider it as one of the effective ways to improve performance and, in particular, wear resistance of machine parts.

**Key words.** surface layer, strengthening method, surface-plastic deformation, micro-inequalities, increase efficiency.



УДК 631.365.2

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-14

## ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО СУШІННЯ ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ

Скляр О. Г., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-0456-2479

Скляр Р. В., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-1547-5100

Григоренко С.М., асистент

ORCID 0000-0003-3818-2404

*Таврійський державний агротехнологічний університет**імені Дмитра Моторного**e-mail: radmila.skliar@tsatu.edu.ua*

*Постановка проблеми.* Розвиток птахівництва в Україні, який в останні роки значно інтенсифікувався, супроводжується рядом негативних наслідків [1-4]: забрудненням атмосфери пиловими викидами та емісією шкідливих газів; утворенням у значних об'ємах стічних вод, які містять небезпечні забруднення (ксенобіотики та іони амонію); накопиченням твердих відходів (посліду та інших продуктів життєдіяльності птахів); мікробіологічним забрудненням довкілля та, як наслідок – погіршенням епізоотичної ситуації; вилученням значної кількості сільськогосподарських угідь під птахофабрики та їх інфраструктуру; погіршенням стану біорізноманіття. Погіршення стану екологічної безпеки в зоні діяльності інтенсивного промислового птахівництва [6,7] вимагає розроблення системи комплексних заходів для мінімізації цієї екологічної небезпеки, які одночасно забезпечили б санітарно-гігієнічні умови утримання птиці. Однак при зберіганні пташиного посліду в переробленому вигляді на відкритому майданчику протягом 3...4 місяців втрачається до 50...60% азоту.

При прискореному і своєчасному сушінні посліду втрата азоту не перевищує 4...6% [6,7]. Слід зазначити, що для сушіння придатний послід вологістю 58...62%. При більшій вологості послід має високі адгезійні властивості, тим самим скорочуючи робочий об'єм апаратів, прилипаючи до його стінок. Додавання тирси і соломи до посліду вологістю понад 65% або його зневоднення до бажаного результату не приводить.

*Аналіз останніх досліджень.* Питаннями сушіння займалися такі видатні вчені як М. Ю. Лур'є, А. В. Ликов, А. П. Ворошилов, С. Д. Птіцин, Б. І. Котов, В. А. Дідур, А.А. Ляшенко, О.В. Шеліманова [6,7]. У результаті таких досліджень були розглянуті питання балансу вологи, витрати повітря та тепловий баланс. Однак питання, що



присвячені сушінню пташиного посліду, вивчені не достатньо для впровадження в умовах виробництва.

Обґрунтовано, що термічна обробка пташиного посліду в сушильних установках - найбільш ефективний спосіб переробки цього цінного органічного добрива [8-11]. При термічному сушінні маса сирого пташиного посліду зменшується в 3...4 рази, а фізичні властивості сухого добрива дозволяють вносити його в ґрунт практично всіма машинами, які призначені для розкидання мінеральних добрив. Сушіння посліду при температурі теплоносія 600...800 °С сприяє знищенню патогенних бактерій, яєць гельмінтів і насіння бур'янів. В процесі термічної обробки сирій послід перетворюється в сипучу речовину вологістю 12...14%. З 1 т посліду вологістю 65...70% виходить до 300...350 кг сухого продукту [6,7]. Термічно висушений пташиний послід не має неприємного запаху і може бути фасований в паперові або поліетиленові мішки.

*Формулювання мети статті.* Аналіз існуючих установок для сушіння посліду та розробка конструкції сушарки для отримання якісних органічних добрив.

*Основна частина.* При обмежених земельних ресурсах або їх відсутності птахівницькі підприємства зазнають великих екологічних та організаційних проблем, які пов'язані з тим, куди реалізувати значні об'єми посліду, що накопичуються. В цьому випадку технологічні прийоми переробки посліду [10,11] повинні забезпечувати значне скорочення його об'ємів та отримання екологічно безпечного готового продукту.

Термічне сушіння посліду відбувається в спеціальних установках (сушарках) різних типів [6-8]: барабанних (прямотечійних або протитечійних), шахтно-барабанних, апаратах сушіння в киплячому шарі, сушарках контактного (кондуктивного) сушіння, тунельних та стрічкових.

Найбільшого поширення набули установки для сушіння посліду тунельного типу з конвективним способом підведення теплоти [6,7,11,12]. Подібні сушильні установки складаються з декількох рівнів, а кожен з яких з перфорованої стрічки (рис. 1). Сушіння посліду відбувається за рахунок проходження через перфорацію агенту сушіння.

Послід переміщається з однієї горизонтальної стрічки на іншу, яка розташована нижче і паралельно попередньої. Час сушіння посліду залежить від його початкової вологості, швидкості руху стрічки, вологості, температури і швидкості руху агенту сушіння.

В установках барабанного типу послід висушується, пересипаючись із лопаті на лопать під час обертання барабану. Подача

теплоносія (гарячого повітря або топкових газів) відбувається прямотечією або протитечією.

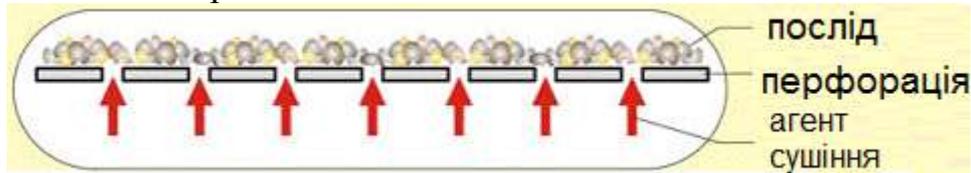


Рис. 1. Схема процесу сушіння посліду в тунельній сушарці

В установках стрічкового типу теплоагент циркулює крізь шар матеріалу знизу вгору, зверху вниз, вздовж транспортеру прямотечією або протитечією.

Технологічний процес традиційної сушарки зазвичай будується за принципом багатостадійної обробки вихідного матеріалу [6,7,13]: механічне згущення (центрифугування, фільтрація, віджимання тощо), випарювання і розпилення. Багатостадійність, що використовується на практиці ліній сушіння, призводить до значних капіталовкладень на етапі формування ділянок зневоднення. Крім того, процеси випарювання і розпилення, як правило, проводяться при температурах від 90 до 150°C, що неприпустимо для таких речовин, як вітаміни, цукор, деякі білкові сполуки, амінокислоти тощо. Подібні речовини бажано обробляти в діапазоні температур від 40 до 90 ° С [6,7,13]. Цей температурний діапазон може бути забезпечений лише при веденні процесу в умовах вакууму.

Вакуумне сушіння є новим способом для утилізації рідкого посліду, до переваг якого можна віднести: екологічну безпеку, високу якість одержуваного органічного добрива тощо.

Компанія «Розвиток Еко» (Росія) пропонує використовувати екологічно безпечний одностадійний процес сушіння посліду в вакуумі з комплектом обладнання VacuumEcoDry, що дозволяє забезпечувати обробку посліду в режимі сприятливих температур зі збереженням корисних елементів в органічному добриві (рис. 2).

Технологічний процес вакуумної сушки посліду протікає в вакуумному середовищі. В якості первинного енергоносія може використовуватися електрика, природний газ, газ, що одержується в результаті супутніх біологічних процесів; відпрацьована пара, гаряча вода. У зв'язку з цими особливостями технологічного процесу, вплив на навколишнє середовище має місце тільки в разі використання в якості енергоносія газу, що спалюється для підігріву води. Вихідний продукт надходить через приймальний бункер в вакуумну сушарку для обробки. Подача продукту здійснюється системою завантаження в об'ємах, які суворо узгоджені з продуктивністю обладнання.



Рис. 2. Обладнання для вакуумного сушіння посліду «VacuumEcoDry»

Незважаючи на ряд переваг, витрати на отримання сухого посліду виявляються досить високими, що стримує промислове застосування даного способу [14-16].

Zusami розробила систему обробки посліду (рис. 3), яка видаляє запах, комах і гази азоту: система Secopov (Секонов). Вивантаження пташиного посліду здійснюється кожні 3...7 днів, використовуючи для цього транспортер з поліпропіленової стрічкою. Ступінь вологості посліду в даному випадку досягає 80...85%.. Процентний вміст води в кінцевому продукті 15...20% при терміні сушіння 24 години.



Рис. 3. Установка для сушіння пташиного посліду Secopov

Після збирання послід подається в верхню частину сушарки Seconov та розрівнюється за допомогою механічної борозни, утворюючи тонкий шар. Через тунель, що з'єднує агрегат з приміщенням пташника, і за допомогою потужних вентиляторів, відбувається сушка посліду. При цьому використовується тепло, що виділяється птицею. Після сушіння послід падає в нижнє відділення тунелю, і після другого процесу сушіння, переміщається в складські приміщення. Таким чином, висушений послід може зберігатися до моменту його продажу і використання.

Обладнання «Вакуум-Органіка» (рис. 4) пропонує комплексне вирішення проблеми переробки та утилізації відходів за допомогою технології вакуумної сушки. Обладнання, що застосовується дозволяє отримувати з пташиного посліду - сухе біоорганічне добриво і паливні пелети - калорійне паливо для твердопаливних котлів. Даний метод дозволяє переробляти відходи з вологістю від 40% до 80%.



Рис. 4. Обладнання «Вакуум-Органіка» компанії ТАТРУС

Необроблений пташиний послід надходить в приймальну ємність. Звідти за допомогою скребкового конвеєра подається в вакуумний реактор, де при температурах нижче  $100^{\circ}\text{C}$  і низькому тиску відбувається випаровування рідини. За час випаровування гинуть всі патогенні бактерії і насіння рослин. Варіанти виконання роботи реактора можуть бути як циклічним так і безперервним. Висушений послід надходить в змішувач безперервної дії [17-19], змішується з золою з пелетного котла і обробляється біопрепаратами (за умови комплектації лінії змішувачем для введення біопрепаратів). Надалі продукт гранулюється і надходить на фасування і упаковку.

Крім того, гнучкість і універсальність даного обладнання дозволяє без особливих конструктивних змін використовувати різні



види сировини, швидко переобладнуватись з випуску добрива [20] на випуск паливних пелет, а так само забезпечувати необхідну кінцеву вологість продукту. Переобладнання на випуск пелет і назад на випуск добрива не вимагає механічного перемикання обладнання, досить в комп'ютері керування перейти на програму випуску пелет. Автоматика сама переведе обладнання в потрібний технологічний і температурний режим. Вимкне з роботи змішувач і подачу біопрепаратів.

Аналіз способів переробки посліду птахофабрик для виробництва органічних добрив показує, що [10,11,21-24]:

- економічні технології переробки посліду не забезпечують захист довкілля і при тривалому застосуванні можуть заподіяти істотної шкоди екологічній обстановці;

- ряд способів вимагає створення додаткових спеціалізованих майданчиків і значних об'ємів допоміжної сировини (торф, солома тощо), що в сукупності з тривалим процесом і низькою ціною кінцевого продукту робить їх непривабливими для більшості птахофабрик;

- ряд способів має технологічні обмеження, тому що вони вимагають складної реалізації необхідних температурних режимів в більшості кліматичних зон країни;

- ряд способів, заснованих на застосуванні живих організмів, таких як вермікультури і мускультура, складні в керуванні процесом переробки, що створює проблеми в практичній реалізації.

Так, існуючі технології сушіння посліду характеризуються технічною складністю організації даного процесу, а існуючі установки енерговитратні і мають високу нерівномірність сушіння [6,7,13]. Це призводить до того, що послід частіше використовують сирым. В результаті на поля у великій кількості потрапляють насіння бур'янів, яйця гельмінтів, патогенна мікрофлора.

З метою усунення зазначеного явища запропоновано пристрій для сушіння пташиного посліду (рис. 5) [1].

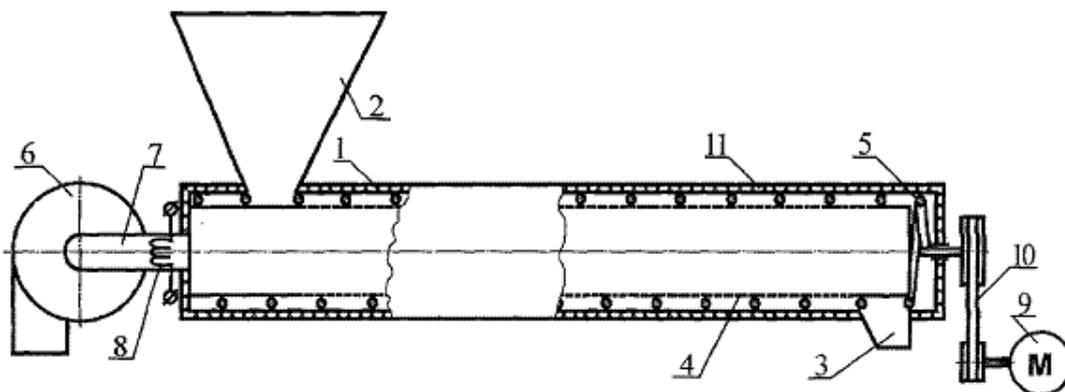


Рис. 5. Пристрій для сушіння пташиного посліду (позначення по тексту)



Пристрій працює наступним чином. Від електродвигуна 9 за допомогою передачі 10 приводиться в обертання транспортувальний орган 5. Вмикають вентилятор 6 і нагрівальні елементи 8. Потім подають пташиний послід в завантажувальний бункер 2, звідки він надходить в кільцевий зазор між кожухом 1 і перфорованим циліндром 4, де захоплюється гвинтовою поверхнею обертового транспортувального органу 5 і по зовнішній поверхні перфорованого циліндра 4 переміщається до вивантажувального вікна 3.

Нагріте повітря проходить через внутрішню порожнину і перфорацію циліндра 4. У кільцевому зазорі, проходячи через шар посліду, нагріте повітря відбирає у нього надлишки вологи і виходить назовні через завантажувальний бункер 2 та вивантажувальне вікно 3. В процесі роботи пристрою повітря також нагріває перфорований циліндр 4. Контактуючи з нагрітою поверхнею перфорованого циліндру 4, послід також нагрівається і втрачає надлишки вологи, які у вигляді пари видаляються через завантажувальний бункер 2 і вивантажувальне вікно 3 потоком повітря, який створюється вентилятором 6. Сухий послід видаляється з пристрою через вивантажне вікно 3.

Встановлений в кожусі з боку завантажувального бункера концентрично перфорований циліндр, перфорація якого розташована між завантажувальним бункером і вивантажним вікном, наявність в повітроводі нагрівальних елементів, а також з'єднання повітропроводу з внутрішньою порожниною циліндру в торцевій частині кожуха перед завантажувальним бункером створює умови для ефективного продування потоку нагрітого повітря через висушуваний матеріал, знижуючи питому енергоємність і сприяючи рівномірному сушінню сировини. Покриття зовнішньої поверхні кожуха шаром теплоізоляційного матеріалу дозволяє знизити віддачу теплоти в навколишнє середовище, зменшуючи витрати енергії на сушіння матеріалу.

Встановлення транспортуючого органу в зазорі між кожухом і перфорованим циліндром дозволяє досягти сталості температурного поля внаслідок відносно невеликої величини зазору між ними, що також покращує якість готового продукту. Поліпшення якості готового продукту досягається і при розташуванні приводу транспортуючого органу з боку вивантажувального вікна, що сприяє рівномірному руху матеріалу від завантажувального бункера до вивантажувального вікна. Пристрій можна застосовувати як автономно, так і в складі технологічних ліній для переробки посліду.

*Висновки.* Розглянуті технології сушіння посліду характеризуються технічною складністю організації даного процесу, а існуючі установки для сушіння посліду енерговитратні і мають високу



нерівномірність сушіння. Запропонована установка дозволяє знизити питому енергоємність процесу сушіння посліду і поліпшити якість готового продукту.

#### Список використаних джерел

1. 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. Boltyansky B.V. Analysis of major errors in the design of pumping stations and manure storage on pig farms. *ТЕКА Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*. 2016. Vol. 16. No. 2. Pp.49–54.
3. Комар А.С. Визначення заходів з підвищення енергоефективності сільськогосподарського виробництва. *Міжн. ел. наук.-пр. журнал WayScience*. Дніпро, 2020. Т.1. С. 118-121.
4. Скляр Р.В. Методологія оптимізації ресурсовикористання у тваринництві. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2011. Вип. 11. Т.5. С. 245-251.
5. Boltyanska N. Justification of choice of heating system for pigsty. *ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.
6. Ляшенко А. В., Процьшин Б. Н., Гордиенко П. В., Фищук Н. У. Интенсификация процесса теплообмена при сушке термолабильных пастообразных материалов. *Промышленная теплотехника*. 2008. №1. с. 46–49.
7. Кошкин В.П., Никитин Н.И. Устройство для сушки куриного помета. *Современные наукоемкие технологии*. 2014. № 5-1. С. 62-63
8. Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві: підручник / Б.В. Болтянський та ін. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.
9. Komar A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44–56.
10. 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.
11. 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.
12. Skliar A. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plan. *MOTROL: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Lublin, 2014. Vol.16. No2, b. P.183-188.



13. Григоренко С.М., Мілько Д.О. Методика експериментальних досліджень процесу сушіння пташиного посліду в барабанній сушарці. *Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодержавний збірник*. ННЦ «ІМЕСГ». Глеваха, 2019. Вип. № 10 (109). С.111-117.
14. Boltianska N. I. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, No 13. Pp. 49-54.
15. Скляр Р.В. Напрями використання органічних ресурсів у тваринництві. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2011. Вип. 11. Т.5. С.210-217.
16. Kan T., Strezov V., Evans T.J. Lignocellulosic biomass pyrolysis: a review of product properties and effects of pyrolysis parameters. *Renew. Sustain. Energy Rev*, 2016. Vol. 57. P. 1126–1140.
17. 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.
18. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production*. Uman, 2019. Pp. 18-20.
19. Гелетуха Г.Г., Железна Т.А. Перспективи використання відходів сільського господарства для виробництва енергії в Україні: аналітична записка БАУ №7. Біоенергетична асоціація України, 2014. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-7-ua.pdf>
20. Скляр Р.В. Властивості біодобрих, що отримуються після анаеробної ферментації гною. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь, 2013. Вип. 13. Т.3. - С.110-118.
21. Boltyanskyi B. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. Pp. 249-258.
22. Serebryakova N., Podashevskaya H. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.
23. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine*. Nizhin, 2019. P. 84–91.
24. Boltianska N. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.



## ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЩОДО СУШІННЯ ПТАШИНОГО ПОСЛІДУ

Скляр О.Г., Скляр Р.В., Григоренко С.М.

### *Анотація*

В статті розглянуто існуюче обладнання для сушіння пташиного посліду. Доведено, що термічні способи переробки мають значні переваги перед іншими способами. Наведено, що технологічні прийоми переробки посліду повинні забезпечувати значне скорочення його об'ємів та отримання екологічно безпечного готового продукту. Найбільшого поширення набули установки для сушіння посліду тунельного типу з конвективним способом підведення теплоти. Проаналізовані варіанти установок для вакуумного сушіння, яке є новим способом для утилізації рідкого посліду. До переваг можна віднести: екологічну безпеку, високу якість одержуваного органічного добрива. Обґрунтовано, що незважаючи на ряд переваг, витрати на отримання сухого посліду при цьому виявляються досить високими, що стримує промислове застосування даного способу. Запропоновано пристрій для сушіння пташиного посліду, в якому пропонується ряд технічних рішень, що дозволять знизити питому енергоємність процесу сушіння посліду і поліпшити якість готового продукту.

**Ключові слова:** сушіння, пташиний послід, вакуум, органічне добриво, сушарка, енергоємність.

## ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СУШКЕ ПТИЧЬЕГО ПОМЕТА

Скляр А.Г., Скляр Р.В., Григоренко С.М.

### *Анотація*

В статье рассмотрено существующее оборудование для сушки птичьего помета. Доказано, что термические способы переработки имеют значительные преимущества перед другими способами. Показано, что технологические приемы переработки помета должны обеспечивать значительное сокращение его объемов и получения экологически безопасного готового продукта. Наибольшее распространение получили установки для сушки помета туннельного типа с конвективным способом подвода теплоты. Проанализированы варианты установок для вакуумной сушки, которая является новым способом для утилизации жидкого помета. К преимуществам можно отнести: экологическую безопасность, высокое качество получаемого органического удобрения. Обосновано, что несмотря на ряд преимуществ, затраты на получение сухого помета при этом оказываются достаточно высокими, что сдерживает промышленное применение данного способа. Предложено устройство для сушки птичьего помета, в котором предлагается ряд технических решений, которые позволят снизить удельную энергоёмкость процесса сушки помета и улучшить качество готового продукта.

**Ключевые слова:** сушка, птичий помет, вакуум, органическое удобрение, сушилка, энергоёмкость.



## TECHNICAL SOLUTIONS FOR BIRD DRYING FOLLOW Skliar A, Skliar R., Grigorenko S.

### *Summary*

The article discusses the existing equipment for drying poultry manure. It has been proven that thermal processing methods have significant advantages over other methods. It is shown that technological methods for processing manure should provide a significant reduction in its volume and obtain an ecologically safe finished product. The most widespread are installations for drying manure of a tunnel type with a convective method of supplying heat. Multi-stage, which is used in practice for drying lines, leads to significant capital investments at the stage of formation of dehydration sections. In addition, the processes of evaporation and spraying, as a rule, are carried out at temperatures from 90 to 150 °C, which is unacceptable for substances such as vitamins, sugar, some protein compounds, amino acids and the like. It is desirable to process such substances in the temperature range from 40 to 90 °C. This temperature range can be provided only when the process is carried out under vacuum conditions. Variants of installations for vacuum drying, which is a new method for liquid manure disposal, have been analyzed. The advantages include: environmental safety, high quality of the resulting organic fertilizer. It has been substantiated that, despite a number of advantages, the costs of obtaining dry manure in this case are quite high, which hinders the industrial application of this method. A device for drying poultry manure is proposed, in which the installation of a transporting body in the gap between the casing and the perforated cylinder will allow achieving a constant temperature field as a result of a relatively small gap between the casing and the perforated cylinder, will also improve the quality of the finished product and reduce the specific energy consumption of the manure drying process.

**Key words:** drying, bird droppings, vacuum, organic fertilizer, dryer, energy intensity.



УДК 631.354.022

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-15

## КОНЦЕПТУАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Шегеда К. О., інженер

Шокарев О. М., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-8646-4524

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: oleksandr.shokarev@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* Стратегічно важливою сільськогосподарською галуззю для України є виробництво зернових культур. На фізіологічні процеси формування врожаю зернових культур впливає велика кількість факторів як некерованих (сонячна радіація, температура, опади та інші явища природи), так і керованих людиною (сорти, агротехніка, добрива, засоби захисту рослин від бур'янів, шкідників, хвороб, регулятори росту, зрошення, збирання врожаю [1,2]). Найвища продуктивність зернових культур досягається при оптимальному співвідношенні керованих і некерованих факторів на всіх етапах росту, розвитку та збирання рослин. З урахуванням факторів, які впливають позитивно або негативно на врожай можна в значній мірі нівелювати вплив метеорологічних умов і цілеспрямовано використовувати контрольовані і керовані людиною фактори, такі, наприклад, як методи збирання зернових культур [3,4].

Створення комбайнів з класичною схемою молотилки збільшеної пропускної здатності супроводжується зростанням їх металоємності, енергоємності та габаритів. Потужність двигуна ДОН-1500 досягає 160 кВт. Майже три чверті цієї потужності він витрачає на те, щоб всіляко перебивати, струшувати соломі [5,6]. Але для підвищення надійності технологічного процесу збирання зернових культур треба обґрунтувати організацію процесу збирання врожаю. Дана робота присвячена пошуку раціональних технологічних схем та підвищенню їх надійності при збиранні зернових культур.

*Аналіз останніх досліджень.* Питанням розвитку комбайнової технології збирання зернових культур займалися такі вчені як Шабанов П.А., Данченко Н.Н., Голубев І.К., Повиляй В.М., Коваль С.М., Іваненко І.М., Івасюк В.В., Рожанський О.В. Одним з перспективних напрямків розвитку комбайнової технології збирання зернових культур є збирання методом обчісування на корені, що дозволяє у 1,5...2,0 рази



підвищити працездатність комбайнів при істотному зниженні їх енергоємності та металоємності [7-10].

Особливість даного способу є у тому, що обчісувальний пристрій, що прикріплений до комбайну замість жнивarki, виконує обмолот зернових культур на корені з наступним збором та доопрацюванням обчесаного вороху у комбайні.

Незернова частина врожаю (обчесані стеблини) у молотильно-сепарувальній пристрій комбайна не потрапляють, в результаті чого досягається істотне підвищення пропускної здатності комбайна. А враховуючи, що ворох складається на 60...90% з вільного зерна, 10...25% зерна у колоссях (мітелки) і до 10% дрібно-соломистого вороху, то значно зменшуються енергозатрати на сепарацію та обмолот маси у комбайні [11-13].

Переваги даного способу перед традиційним прямим комбайнуванням полягають у наступному: підвищення продуктивності збирання зернових культур; зменшення витрат зерна та його травмування; зменшення енергоємності комбайна; скорочення строків збирання та звільнення поля під врожай майбутнього року [14,15].

Експериментальні пристрої конструкції ТДАТУ для збирання зернових культур являють собою навісні обчісувальні пристрої до зернозбиральних комбайнів (рис. 1).



Рис. 1. Збиральний агрегат обчісувального типу конструкції ТДАТУ

Пристрій складається з двох обчісувальних барабанів з жорстко закріпленими на них робочими органами, які виконані у вигляді гребінок. Барабани встановлені в середині обчісувальної камери, що залишає їх відкритими для доступу рослин тільки знизу. Для зменшення переброшування обчесаного вороху через себе, перший





барабан має гребінки, що відхилені в бік, протилежний напрямку обертання. Для кращого транспортування зерна у збірник, гребінки другого барабану відхилені у бік напрямку його обертання. Дільники, що встановлені у передній частині обчісувальної камери, формують стеблостій на ширині захвату пристрою. Другий барабан в нижній частині закритий кожухом. Шнек, що встановлений в задній частині обчісувальної камери, слугує для збору та подальшого транспортування обчісувального вороху [16-18].

Технологічний процес збирання зернових культур методом обчісування на корені виконується наступним чином. При русі комбайна уперед, стеблини рослин нахилиються переднім кожухом обчісувальної камери та під дією всмоктуючого повітряного потоку, що створюється барабанами, та за рахунок пружних якостей стеблин, подаються в зону обчісування знизу камери. Гребінки, що встановлені на барабанах, обчісують рослини. Отриманий в результаті обчісування ворох, під дією гребінок та направленого повітряного потоку, що утворюється барабанами, подається в шнек, який транспортує ворох у наклонну камеру і далі у молотилку комбайна для подальшого опрацювання [19]. Обчісувальний пристрій при кріпленні до транспортного засобу дозволяє вести збирання обчісаного вороху та може бути використано для збирання зернових культур за індивідуально-поточною технологією з доопрацюванням продуктів обмолоту на стаціонарі. При цьому скорочується об'єм сховищ, зменшується енергоємність стаціонарного пункту за рахунок відсутності соломи у воросі, що оброблюється.

*Формулювання цілей статті.* Мета роботи полягає у обґрунтуванні підвищення надійності технологічного процесу збирання врожаю за рахунок використання комбайнів обчісувального типу. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

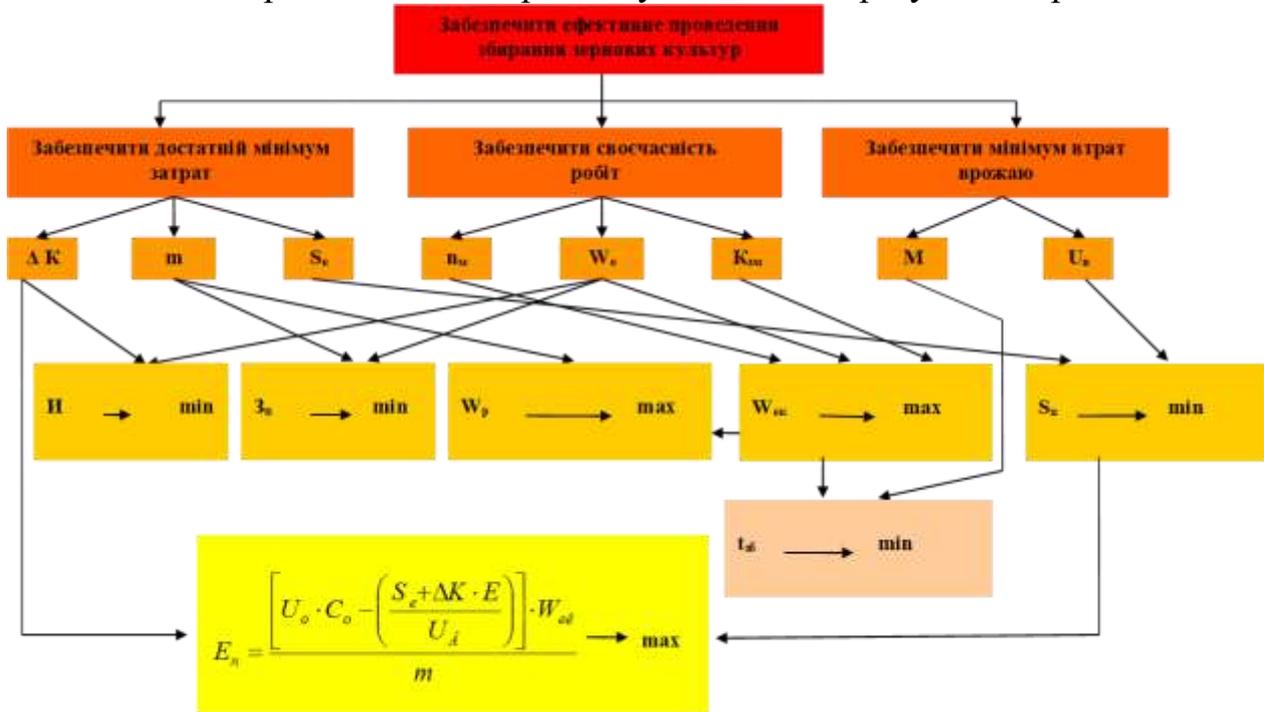
- визначити критерій ефективності збиральних робіт;
- здійснити багатокритеріальний вибір збиральних агрегатів.

*Основна частина.* Ціль передбачає досягнення бажаного стану певної виробничої або технічної системи.

Спочатку загальні цілі формуються на змістовому рівні і дають можливість визначити лише напрямок дій. Так, мета "підвищити ефективність збирання" ще не розкриває тих показників, які були б мірою наближення до неї. Тобто ціль повинна бути вимірником для порівняння альтернативних варіантів і прийняття кращого з можливих рішення. Для цього здійснюють структурування загальної мети у вигляді дерева цілей. Назва "дерево цілей" пов'язана з тим, що структурація загальної мети здійснюється у вигляді деревовидного графа, вершини якого характеризують часткові цілі, а ребра – зв'язки між ними (рис. 2). Загальними правилами побудови дерева цілей є



ієрархічна структура, при якій елементи нижчого рівня підпорядковані елементам вищого рівня, витікають з них і забезпечують їх реалізацію; повнота, тобто дерево цілей на кожному рівні включає суттєві елементи; визначеність формулювання цілей, яка дозволяє оцінювати ступінь її досягнення. Відповідальність критерію поставленій цілі значною мірою пов'язана з рівнем узагальнення результатів рішення



$n_m$  – кількість комбайнів;  $W_{ek}$  – кількість і експлуатаційна продуктивність машин;  $K_{zm}$  – коефіцієнт змінності;  $Z_n$  - затрати праці;  $S_{ek}$  – прямі затрати праці і витрати коштів;  $U_e$  – отримана продукція;  $W_p$  – продуктивність на одного працівника комплексу;  $t_{zb}$  – термін збиральних робіт;  $S_u$  – витрати на одиницю продукції;  $E_n$  – ефективність праці;  $I$  – експлуатаційні затрати на одиницю роботи;  $W_{ek}$  – годинна продуктивність комплексу.

Рис. 2. Дерево цілей і критеріїв ефективності технологічного процесу збирання зернових культур

У наведеному на рисунку 2 прикладі нижній рівень цілей містить такі показники, як кількість машин ( $n_m$ ), експлуатаційна продуктивність ( $W_{ek}$ ), коефіцієнт змінності ( $K_{zm}$ ), затрати праці ( $Z_n$ ), експлуатаційні витрати ( $S_{ek}$ ), отриманий врожай ( $U_e$ ). Проте ці показники є лише частковими складовими ефективності робіт. Більш загальним показником є, наприклад, продуктивність у розрахунку на одного працівника, що зайнятий на збиранні ( $W_p$ ). Його можна приймати як критерій при оптимізації числа збиральних машин залежно від розмірів полів та інших природно-виробничих факторів, бо він має явний екстремум і до певної міри відображає мету при недостатку робочої



сили. Проте його недоліком є те, що не враховуються витрати на виконання робіт. Мінімізація приведених витрат ( $S_u \rightarrow \min$ ) на одиницю виконаних робіт широко використовується як цільова функція при проектуванні, плануванні і організації виробничих процесів. Проте він не відображає впливу збирального комплексу на кінцеві результати (продукцію).

Найбільш загальним із приведених на схемі критеріїв є ефективність праці ( $E_n$ , грн./люд-год.):

$$E_{np} = \frac{C_o - (S_u + \frac{\Delta K \cdot E}{U_o})}{Z_n} \rightarrow \max; \quad (1)$$

де  $E_n$  – ефективність праці, грн./год.;

$U_o$  – врожайність основної продукції, т/га;

$C_o$  – вартість основної продукції, грн./т;

$S_u$  – приведені витрати, грн./га;

$Z_n$  – затрати праці, люд-год./га;

$\Delta K$  – додаткові капвкладення, грн.;

$E$  – нормативний коефіцієнт,  $E = 0,15$

Критерій ефективності праці є інформативним для оцінки технологій, комплексів машин і виробничих процесів. Варто зазначити, що вибір критерію суттєво залежить від виробничих обставин. Наприклад, при проведенні робіт в умовах дефіциту часу або робочої сили комплекс машин оптимізують за мінімумом затрат праці ( $Z_n \rightarrow \min$ ) або максимумом продуктивності ( $W_{np} \rightarrow \max$ ). Якщо більш суттєвою є економія коштів, то оптимізацію можна проводити за мінімумом приведених витрат на одиницю площі ( $S_u \rightarrow \min$ ).

Перетворюємо залежність (1) та отримуємо

$$E_i = \frac{\left[ C_o - \left( \frac{S_e - \Delta k \cdot E}{U_a} \right) \right] \cdot W_{âê}}{m} \rightarrow \max, \quad (2)$$

Таким чином для підвищення ефективності технологічного процесу збирання зернових потрібно підвищити продуктивність комбайну ( $W_{ek} \rightarrow \max$ ) за рахунок конструктивних параметрів обчисувального модулю в тому числі і обчисувальних гребінок, а також за рахунок підвищення рівня безвідмовності обчисувальних гребінок; мінімізувати затрати на технічне обслуговування та ремонт ( $S_{TO}; S_{TP}$ ), які є складовими приведених витрат ( $S_e \rightarrow \min$ ). Мінімізація затрат можлива за рахунок підвищення рівня довговічності та ремонтоздатності; мінімізувати втрати при збиранні  $[(V_{eo} + V_{eo}) \rightarrow \min]$  за рахунок вдосконалення конструкції робочих органів обчисувального



пристрою, а також за рахунок зменшення інтенсивності зносу поверхонь обчисувальних гребінок.

Математична модель (ММ) технологічного процесу збирання зернових культур в загальному вигляді багатокритеріальної задачі описується виразом:

$$MM = (\eta, S, U, L, H, \varphi); \quad (3)$$

де  $\eta$  – тип багатокритеріальної задачі;  $S$  – множина варіантів характеристик системи, що оцінюються;  $U$  – множина критеріїв, за якими оцінюється система;  $L$  – шкала оцінок по кожному критерію;  $H$  – система пріоритетів особи, що приймає рішення (ОПР) на множинні варіантів  $S$ ;  $\varphi$  – правило рішення, яке на множинні варіантів  $S$  задає відношення переваги відповідно до системи пріоритетів  $H$ .

Згідно з виразом (3) визначаємо такі складові математичної моделі: тип задачі ( $\eta$ ) – багатокритеріальний вибір; множина варіантів ( $S$ ) – варіанти множини альтернатив (ВМА) комбайнів (СК-5 + очіс, Дон-1500, Дон-1500 + очіс, Джон Дир W650.); множина критеріїв ( $U$ ) – чотири критерії (годинна продуктивність, годинні витрати палива, затрати праці, експлуатаційні затрати); шкала оцінок ( $L$ ) – відповідно до одиниць виміру критеріїв; система переваг ОПР ( $B$ ) – всі критерії приймаються рівнозначними на ВМА; правило вирішення ( $\varphi$ ) – вибір за значенням відносної відстані до цілі  $\mu$ . Переміщенні критерії, крім годинної продуктивності, потрібно мінімізувати. Для зручності процедури прийняття рішення замість годинної продуктивності введемо новий критерій – зворотну годинну продуктивність  $W^{-1}$ . Для вибору раціонального способу відновлення застосовуємо метод багатокритеріального вибору за відстанню до цілі. Один з простих методів багатокритеріального вибору полягає в застосуванні інтегрального критерію відстані до цілі. Його суть – в обґрунтуванні ідеалу та оцінці міри наближення до нього кожного з варіантів множини альтернатив. Ідеальний варіант характеризує таку систему, для якої кожен з критеріїв досягає свого потенційно можливого найкращого значення. Такі значення можуть бути обґрунтовані теоретично або відповідати кращій реально досягнутій величині. Практичне застосування методу зручно робити на графічній моделі. Для варіантів ВМА визначають критерії  $\mu_i$  і відкладають їх на радіально розташованих шкалах. Шкали будують таким чином, щоб покращення критерію йшло до центру (точки 0). З'єднують точки на шкалах для  $j$ -го варіанту, отримують багатокутник. На кращих значеннях критеріїв будують багатокутник ідеалізованого варіанту. Узагальнений критерій відстані до цілі  $\mu$  визначається як відношення площі  $j$ -го варіанту до площі ідеалізованого:



$$\mu = P_j / P_0, \quad \mu \geq 1; \quad (4)$$

де  $P_j$  та  $P_0$  – відповідно площі багатокутників  $j$ -го та ідеалізованого варіантів.

Вихідні значення показників критеріїв способів відновлення наведенні в таблиці 1. Отже, ВМА включає чотири типу агрегатів.

Таблиця 1

Характеристика збиральних агрегатів

№	Найменування агрегату	Абсолютні показники				$W^{-1}$
		Продуктивність, т/год, $W_e$	Витрати палива, кг/га, $G$	Витрати праці, люд.-год./т, $H$	Експлуатаційні витрати, грн./га, $S$	
1	СК-5 + очіс	10	14,7	0,2	412	0,1
2	Дон-1500	7	23	0,14	644	0,14
3	Джон Дир W650	14	9,2	0,07	258	0,07
4	Дон-1500 + очіс	15	10,3	0,06	288	0,06

Таблиця 2

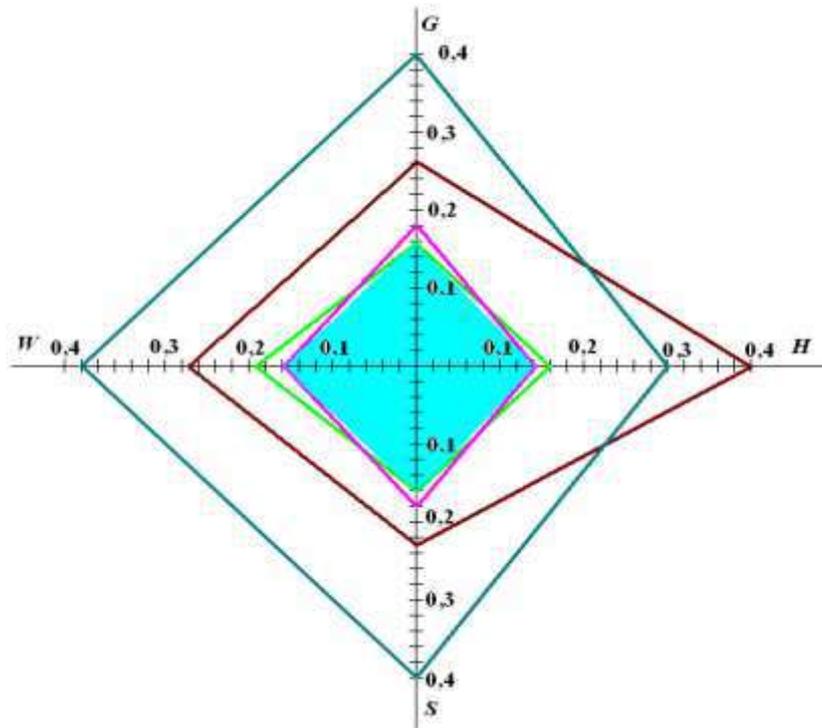
Багатокритеріальний вибір збиральних агрегатів

№	Найменування агрегату	Нормовані показники					$\sum_{j=1}^4 U_j$	$\mu_i$
		Продуктивність, $W_e$	Витрати палива, $G$	Витрати праці, $H$	Експлуатаційні витрати, $S$			
1	СК-5 + очіс	0,27	0,26	0,40	0,23	0,164	3,42	
2	Дон-1500	0,38	0,40	0,30	0,40	0,272	5,67	
3	Джон Дир W650	0,19	0,16	0,16	0,16	0,056	1,17	
4	Дон-1500 + очіс	0,16	0,18	0,14	0,18	0,054	1,13	
5	Ідеал	0,16	0,16	0,14	0,16	0,048	1,00	

Таким чином, для заданих умов кращім буде агрегат, який складається з комбайну Дон-1500 + очіс. Варіанти ВМА у площині критеріїв наведенні на рис. 3.

*Висновки.* Підводячи підсумки вищевикладеного можна зазначити, що в результаті виконаних досліджень встановлено, що найбільш перспективнішим напрямком підвищення надійності

технологічного процесу збирання зернових культур є обчислення їх на корені.



$G$  – витрати пального;  $W$  – продуктивність комбайну;  $H$  – трудомісткість;  $S$  – експлуатаційні витрати

-  - Джон Дир W650
-  - Дон-1500
-  - СК-5 + очіс
-  - Дон-1500 + очіс
-  - ідеал

Рис. 3. Модель багатокритеріального вибору зернозбирального агрегату

На підставі багатокритеріального вибору визнано кращим агрегат, який складається з комбайну Дон-1500 + очіс і який в комплексі зі збирання зернових культур може конкурувати з комбайном «Джон-Дир» W650.

Список використаних джерел.

1. Allkemper, T., Bremer, C., Matuszewski, L., Ebert, W., Reimer, P. Contrast-enhanced blood-pool MR angiography with optimized iron oxides: effect of size and dose on vascular contrast enhancement in rabbits. *Radiology*, 2019. 223 (2), pp. 432–438.

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



3. Sklar, O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.
4. Komar, A. S. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. *TDATU Scientific Bulletin*. 2018. Issue 8. Vol. 2. pp. 44–56.
5. Tsuchiya, K., Nitta, N., Sonoda, A., Otani, H., Takahashi, M., Murata, K. Atherosclerotic imaging using 4 types of superparamagnetic iron oxides: new possibilities for mannan-coated particles. *Eur. J. Radiol.* 2015. 82 (11), pp. 1919–1925.
6. Boltyanskaya, N. I. The dependence of the competitiveness of the pig industry from it-chnology parameters of productivity of the animals. *Bulletin of Kharkov national University-University of agriculture after Petro Vasilenko*. Kharkov. 2017. Vol. 18. pp. 81–89.
7. Сисолін П.В., Коваль С.М., Іваненко І. Машини для збирання зернових культур методом обчисування колосків. Кіровоград, «КОД» 2010. 112 с.
8. Коваль С.М., Іваненко І.М., Івасюк В.В., Рожанський О.В. Революційні технології зернозбирання обчисуючими жниварками. *Техніка АПК*. 2013. №6. С. 8-10.
9. Podashevskaya N. Directions of automation of technological processes in the agricultural complex of Ukraine. *Сб. научн. ст.* Минск: БГАТУ, 2020. С. 519-522.
10. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*, 2017. P. 155–158.
11. Skliar, A. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. pp. 249–258.
12. Wendel C. H. Farm Implements & Antiques. USA: Krause publication, 2004. P. 497.
13. Komar, A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Abstracts of the 5th International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production»*. Uman. 2019. pp.18–20.
14. Бурьянов М.А. Параметры и режимы процесса очеса зерновых культур навесной на комбайн жаткой: *Дис. канд. техн. наук*. Зерноград. 2011.
15. Serebryakova N. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. *Сб. научн. ст.* Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.
16. Іваненко І. Дослідження процесу збирання зернових культур способом обчисування колосків на корені. URL:



<http://ndipvt.com.ua/oldsite/konf7/2/ivanenko.htm>. (дата звернення 10.03.2018.).

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

18. Skliar R. 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.

19. Serebryakova N., Areas of energy conservation in animal feed production of Ukraine. *Сб. научн. ст.* Минск: БГАТУ, 2020. С. 276-278.

### КОНЦЕПТУАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЗБИРАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

К.О. Шегеда, О.М. Шокарев

#### Анотація

Дана робота присвячена пошуку раціональних технологічних схем та підвищенню їх надійності при збиранні зернових культур. Одним з перспективних напрямків розвитку комбайнової технології збирання зернових культур є збирання методом обчісування на корені. Особливість даного способу є у тому, що обчісувальний пристрій, який прикріплений до комбайну замість жнивarki, виконує обмолот зернових культур на корені з наступним збором та доопрацюванням обчесаного вороху у комбайні. В статі обґрунтовані шляхи підвищення надійності технологічного процесу збирання врожаю за рахунок використання комбайнів обчісувального типу. Для досягнення поставленої мети вирішені такі задачі, як визначення загального критерію ефективності збиральних робіт та здійснено багатокритеріальний вибір збиральних агрегатів. Встановлено, що критерій ефективності праці є найбільш інформативним для оцінки технологій, комплексів машин і виробничих процесів. Таким чином рекомендується для підвищення ефективності технологічного процесу збирання зернових потрібно підвищити продуктивність комбайну за рахунок конструктивних параметрів обчісувального модулю в тому числі і обчісувальних гребінок, а також за рахунок підвищення рівня безвідмовності обчісувальних гребінок; мінімізувати затрати на технічне обслуговування та ремонт, які є складовими приведених витрат. На підставі багатокритеріального вибору визнано кращим агрегат, що складається з комбайну Дон-1500 + очіс, який в комплексі зі збирання зернових культур може конкурувати з комбайном «Джон-Дир» W650.

**Ключові слова:** збирання зернових культур, обчісування на корені, обчісувальний пристрій, критерій ефективності, багатокритеріальний вибір.

### КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

Е.А. Шегеда, А.Н. Шокарев

#### Аннотация

Данная работа посвящена поиску рациональных технологических схем и повышению их надежности при уборке зерновых культур. Одним из перспективных направлений развития комбайновой технологии уборки зерновых





культур является сбор методом очеса на корню. Особенность данного способа заключается в том, что очесывающее устройство, прикрепленное к комбайну вместо жатки, выполняет обмолот зерновых культур на корню с последующим сбором и доработкой очесанного вороха в комбайне. В статье обоснованы пути повышения надежности технологического процесса уборки урожая за счет использования комбайнов очесывающего типа. Для достижения поставленной цели решены такие задачи, как определение общего критерия эффективности уборочных работ и выполнен многокритериальный выбор уборочных агрегатов. Установлено, что критерий эффективности труда является наиболее информативным для оценки технологий, комплексов машин и производственных процессов. Таким образом, для повышения эффективности технологического процесса уборки зерновых рекомендуется повысить производительность комбайна за счет изменения конструктивных параметров очесывающего модуля и минимизации расходов на техническое обслуживание и ремонт, которые являются составляющими приведенных затрат. На основании многокритериального выбора признано лучшим агрегат, состоящий из комбайна Дон-1500 + очес, который в комплексе по сбору зерновых культур может конкурировать с комбайном «Джон Дир» W650.

**Ключевые слова:** уборка зерновых культур, очес на корню, очесывающее устройство, критерий эффективности, многокритериальный выбор.

## CONCEPTUAL STUDIES OF THE ORGANIZATION OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS OF HARVESTING GRAIN CROPS

K. Sheheda, O. Shokarev

### Summary

The production of grain crops is a strategically important agricultural sector for Ukraine. One of the promising areas of development of combine technology for harvesting grain crops is harvesting by combing at the root, which allows 1.5-2.0 times to increase the efficiency of combines with a significant reduction in their energy and metal consumption. This work is devoted to the search for rational technological schemes and increasing their reliability when harvesting grain crops. One of the promising directions in the development of the combine technology for harvesting grain crops is the harvesting by stripping on the standing. The peculiarity of this method lies in the fact that the stripping device, attached to the combine instead of the header, performs threshing of grain crops on the standing with the subsequent collection and refinement of the stripped heap in the combine. The article substantiates the ways of increasing the reliability of the technological process of harvesting through the use of comb-type combines. To achieve this goal, such tasks as the definition of a general criterion for the effectiveness of harvesting work were solved and a multi-criteria selection of harvesting units was performed. It was found that the criterion of labor efficiency is the most informative for evaluating technologies, machine complexes and production processes. Thus, in order to increase the efficiency of the technological process of harvesting grain, it is recommended to increase the productivity of the harvester by changing the design parameters of the stripping module and minimizing the costs of maintenance and repair, which are components of the reduced costs. On the basis of a multi-criteria choice, the best unit was recognized, consisting of a Don-1500 + stripping combine, which in the complex for harvesting grain crops can compete with the John Deere W650 combine.

**Key words:** harvesting grain crops, stripping, stripper, efficiency criterion, multi-criteria choice.



УДК 620.1

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-16

## РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЕПІАМНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗНОС ДЕТАЛЕЙ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСУ

В'юник О. В.<sup>1</sup>, інж.,

ORCID: 0000-0002-6413-5567

Дідур В. В.<sup>2</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-7584-5073

Сірий І. С.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID 0000-0001-5943-7213

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного

e-mail: [olga.viunyk@tsatu.edu.ua](mailto:olga.viunyk@tsatu.edu.ua)

<sup>2</sup>Уманський національний університет садівництва

*Постановка проблеми.* Питання підвищення ефективності використання мобільних машин, оснащених гідравлічними системами – важливе питання сьогодення. Ефективність роботи сільськогосподарської техніки залежить, головним чином, від її надійності, тобто здатності виконувати задані функції з мінімальними витратами праці і матеріальних засобів протягом тривалого часу. Основним показником, що визначає працездатність і ресурс техніки є інтенсивність зношування деталей тертя. Досвід експлуатації свідчить, що до 90% деталей машин виходять з ладу через знос [1, 2]. Правильно вибравши матеріал і покриття трібоспряжень, можна значно підвищити зносостійкість і довговічність вузлів тертя при експлуатації [3, 4]. Найбільш перспективним і економічним шляхом підвищення працездатності та ресурсу вузлів тертя мобільних сільськогосподарських машин є оптимізація вибору покриттів деталей трібоспряжень. Одним з методів підвищення довговічності трібоспряжень мобільної сільськогосподарської техніки є застосування фінішної антифрикційної безабразивної обробки.

*Аналіз останніх досліджень.* В процесі експлуатації у шестеренчастих насосів типу НШ–К зношуються: підшипникова та підтискна обойми; шестерні (по поверхням цапф та по зовнішньому діаметру); платики (по поверхням, що дотикаються до торців шестерень). виходять з ладу також гумові ущільнення. Розробкою технологій відновлення деталей гідравлічного шестеренного насосу займалися такі вчені, як Наливайко В.Н. Прокоф'єв В.Ф. Саїдов Р.Б. ]. Розроблені технології мають свої переваги та недоліки.

*Відновлення підшипникової та підтискної обойм.* Зношені поверхні напівотворів під цапфи шестерень розточують зберігаючи



міжосьову відстань. В підтискних обоймах разом з обробкою полу отворів розточують радіальні поверхні під відповідний ремонтний розмір і після чого фрезерують площину роз'єму на півкілець підтискної та підшипникової обойм до ремонтних розмірів. Поверхні колодязя та напівотвори під компенсаційні втулки розточують на горизонтально-фрезерному верстаті спеціальною оправкою в спеціальному пристрої одночасно у всіх обоймах даної партії .

Торці підтискної обойми фрезерують, знімаючи шар металу в 0,15...0,20 мм, з метою усунення затискання її між кришкою та корпусом, даючи тим самим можливість вільно пересуватись їй під час роботи насосу .

Спосіб ремонту підтискної та підшипникової обойм під ремонтний розмір є простим та дешевим. Але цей спосіб має ряд недоліків:

- при обробці деталей під ремонтний розмір знижується їх ресурс і звійсно знижується ресурс насосу в цілому;

- при розточуванні колодязю обойм та на півкілець під цапфу шестерень збільшується їх розмір, що потребує встановлення збільшених ремонтних шестерень, а це робить не можливим використання шестерень, що були в експлуатації;

- використання нових чи відновлених ремонтних шестерень значно підвищує вартість ремонту насосу в цілому.

Обойми також можна відновлювати наплавленням зношених місць під цапфами. У підтискної обойми також наплавляють робочу поверхню вкладиша. Відновлення проводять електродуговим наплавленням спеціальним порошковим дротом в середовищі аргону. Після цього обойму оброблюють під номінальний розмір, виконуючи при цьому операції механічної та слюсарної обробки.

Цей спосіб відновлення є більш продуктивним та вигідним але при дії температури на обойми може змінюватись структура їх кристалічної решітки, що призводить до руйнування обойм та інтенсивного їх зношення. Компенсувати знос місць під цапфами шестерень підшипникової та підтискної обойм можна за допомогою втулок виготовлених з бронзи. Але велика трудомісткість та складність виготовлення втулок обмежує їх використання. Відновлення нормальних розмірів обойм можливе також постановкою додаткових деталей з полімерних матеріалів. Місця під вставки розточуються і в них запресовуються полімерні на півкілець. Запресування проводиться за допомогою спеціальних прес-форм виготовлених за високим класом чистоти та точності.

Недоліком способу є необхідність виготовлення прес-форм, виготовлення яких досить дорого коштує.



Перевагами способу є виключення механічної обробки на півкілець після запресування. Також до переваг даного способу слід віднести те, що використання напівкілець з полімерних матеріалів не потрібне додаткове мащення з'єднання, зменшує знос деталей качаючого вузла. Бо крупні механічні частинки, що потрапили в насос вдавлюються в полімер і не руйнують поверхні деталей, а це в свою чергу збільшує ресурс та довговічність насосу.

*Відновлення шестерень.* В шестерні бувають зноси цапф, торцевої поверхні та головок зубців шестерень по колу.

Зноси зубців по товщині незначні і практично не впливають на роботу гідронасосу. На торцевих поверхнях і цапфах відмічені кільцеві риси, що вказує на наявність в робочій рідині абразивних частинок.

Незначні зноси шестерень в межах товщини термообробленого шару дозволяють відновити їх шліфуванням зношених поверхонь цапф, торців та зовнішньої поверхні головок зубців шестерень під ремонтні розміри.

Недоліками даного способу є:

- зменшення ресурсу шестерні;
- шліфування під ремонтний розмір можливе лише при незначних зносах, тому що є всього три ремонтні розміри через 0,2 мм.

При виході розмірів шестерні за граничні її відновлюють електролітичними способами або вібродуговим наплавленням з послідуною термічною та механічною обробкою. Але даний спосіб відновлення не знайшов широкого застосування в ремонтному виробництві через велику вартість та використання складного обладнання.

*Відновлення платиків.* Зношені в місцях контактів торців шестерень платики шліфують під ремонтні розміри по товщині в спеціальних пристроях на плоскошліфувальному верстаті або фрезерують.

Недоліком способу є зменшення товщини платику і збільшення зазору між платиком і посадочним місцем під нього в підтискній обоймі, що потребує постановки додаткової пластини. Також постановка компенсаційної пластини зменшує довговічність платику і насосу в цілому.

Проведений аналіз існуючих технологій показав, що для деталей спряжень качаючого вузла насоса в більшості застосовується спосіб ремонтних розмірів. Він характеризується видаленням слідів спрацювання робочих поверхонь деталей механічною обробкою до ремонтного розміру з дотриманням технічних вимог на клас чистоти поверхні, геометричну форму та фізико-механічні властивості. Як видно з аналізу, відновлення деталей – енерго- та ресурсомісткий процес тому гостро стоїть питання підвищення ресурсу шестерених



насосів. Припрацювання поверхонь тертя деталей є важливим резервом підвищення надійності і ресурсу шестеренних насосів як при їх виготовленні, так і після ремонту.

Ця робота є складовою досліджень, присвячених підвищенню післяремонтної довговічності вузлів тертя шестеренних насосів НШ–К за рахунок зниження зносу деталей в період припрацювання. Встановлено, що одним із шляхів прискорення припрацювання деталей є застосування припрацювальних присадок. У попередній роботі було проаналізовано різні присадки для припрацювання деталей гідромашин після ремонту і виявлено найбільш перспективні. Ними є комплексні присадки, які містять поверхнево-активні й хімічно активні речовини [5]. Проведено розрахунково-теоретичний аналіз підвищення довговічності вузлів тертя шестеренних насосів застосуванням епіламів – фтороорганічних поверхнево-активних речовин [6]. Встановлено, що від фінішної обробки деталей залежить як первинна припрацювальна, так і подальша інтенсивність зношування при експлуатації. Однією з головних переваг ФАБО є порівняльна простота і універсальність способу, що дозволяє використовувати даний метод як в великому машинобудівному підприємстві з масовим виробництвом, так і в невеликому автотранспортному підприємстві [7,8]. ФАБО забезпечує підвищення зносостійкості деталей в 1,5-2 рази, антифрикційних і протизадирних властивостей поверхонь тертя, і є ефективним методом підвищення довговічності деталей машин [9,10].

*Формулювання цілей статті.* Метою даної роботи є експериментальне визначення функціональної залежності між структурними параметрами технічного стану деталей, оброблених епіламом, та функціональними параметрами і наробітком гідронасоса.

*Основна частина.* З метою дослідження дефектів і зношування деталей гідронасосів, усі агрегати зазнали первинної дефектації і мікрометражних досліджень. Первинна дефектація передбачала визначення виду та характеру зношення деталей, а також визначення величин зносів основних деталей і визначення зазорів у з'єднаннях.

Дослідження показали, що зношування платиків – замикачів торцевого ущільнення характеризується нерівномірністю і має ступеньки (рис. 1).

Наявність чітко виражених рисок на робочій поверхні платика – замикача вказує на гідроабразивне зношення його робочої поверхні, що обумовлюється експлуатацією гідронасосів на забруднених робочих рідинах.

Характер зношування платиків пояснюється конструктивними особливостями шестеренних насосів марки НШ–К, в яких платики-замикачі підтискаються до торцевої поверхні шестерень робочою

рідиною з камери високого тиску і в місцях контакту деталей виникає їх спрацювання.

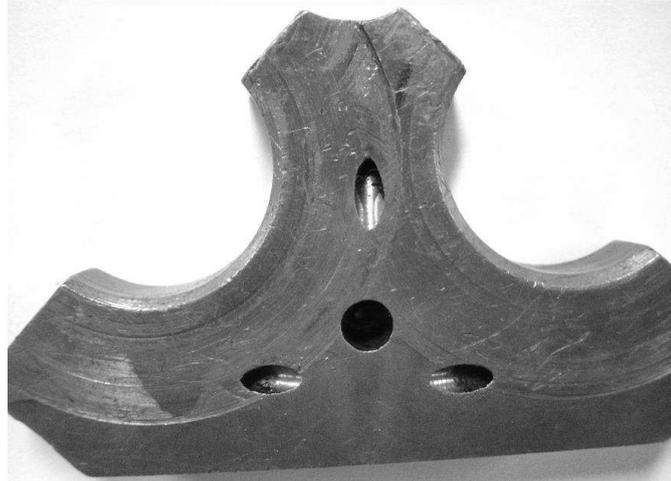


Рис. 1. Характерне зношування платику торцевого ущільнення

Даний дефект спостерігається у 100% насосів, які обстежувалися. Величина зношування перебуває в межах 12...324 мкм. Даний інтервал зношення показує, що практично всі платики – замикачі можуть бути відновлені механічними операціями під один із ремонтних розмірів (Р–1, Р–2) без нарощування робочої поверхні деталі.

Зношування колодязів підтискних обойм під шестерні являє собою збільшення радіуса поверхонь, сполучених з головками зубів шестерень. Даний дефект характеризується тим, що зміна розмірів відбувається нерівномірно по ширині колодязя.

Причиною збільшення радіусів колодязів є гідроабразивне зношування останніх, а також механічний вплив вершин зубів шестерень.

Такий стан справи пояснюється тим, що у процесі роботи гідронасоса під дією високого тиску підтискна обойма притискається до шестерень за допомогою манжети з одного боку, забезпечуючи компенсацію радіального зазору. Даний дефект (рис. 2) мав місце у 48 % обстежених гідроагрегатів, а величини зношування коливаються в межах 1...51 мкм.

У шестернь насоса як веденої так і ведучої зношуються поверхні під цапфи, зношуються по зовнішньому діаметру зуби та торцева частина шестерні (рис. 3).

За видом зношення всі поверхні мають гідроабразивне спрацювання. Основна причина появи зношування торців шестерень - це потрапляння абразивних часток у зазор «торець шестерні – платик».

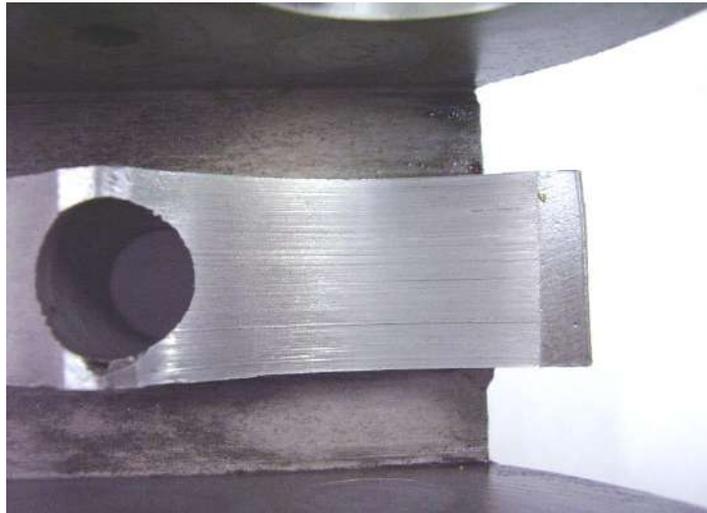


Рис. 2. Характерні види зношування обойм



Рис. 3. Характерний дефект цапф шестерень

У процесі роботи відбувається інтенсивне тертя бічних поверхонь (торців) шестерень по платику, у результаті відбувається зношування поверхонь, що сполучаються (рис. 1). Характерною рисою зношування є поява кільцеподібної риски на торцях шестерень глибиною до 55 мкм. Розкид величин зношування коливається в межах 2...55 мкм. Зношення торцевої частини шестерні спостерігається у 100% насосів, зношення веденої і ведучої шестерень по зовнішньому діаметру мають 58 і 55 % насосів відповідно, у 31 % насосів спостерігається зношування цапф веденої і ведучої шестерень

Проведений аналіз технічного стану насосів, які потрапляють до ремонту, показав, що характер зношення основних деталей качаючого вузла насоса, технічний стан яких в першу чергу обумовлює

працездатний стан насоса, характеризується конструктивними особливостями деталей та умовами їх роботи.

Наявність на всіх робочих поверхнях деталей слідів гідроабразивного спрацювання вказує на експлуатацію насосів на робочих рідинах, які не відповідають технічним вимогам на вміст абразивних частинок.

Проведення лабораторних досліджень з отримання функціональної залежності між структурними параметрами технічного стану деталей, оброблених епіламом, та функціональними параметрами і наробітком гідронасоса, проводилося з застосуванням стенда КИ – 4815М, який призначений для обкатки та випробовування агрегатів гідравлічних систем робочого обладнання мобільних машин сільськогосподарського призначення, гідравлічна схема якого наводиться на (рис. 4.).

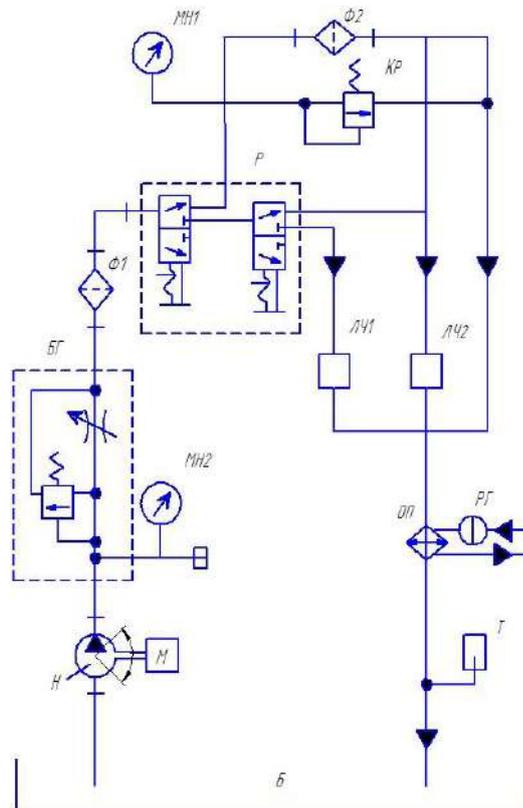


Рис. 4. Гідравлічна принципова схема стенду КИ-4815М:Н – насос; ОП – охолоджуючий пристрій; Б – бак; БГ – гідравлічний блок; МН1, МН2 – манометр; Р – кран; РГ – регулятор температури; КР – редукційний клапан; ЛЧ1, ЛЧ2 – лічильники рідини; Т – термометр; Ф1 – фільтр; Ф2 – відцентровий фільтр.

Для визначення об'ємного коефіцієнту подачі нам необхідно виявити фактичну подачу насоса, яка визначається експериментальним шляхом за допомогою стенду КИ–4815М за відомими методиками [11].





Тривалість випробування насосів складала 50...60 год., так як даний період експлуатації характеризується припрацюванням пар тертя і прискореним зношенням деталей

Перед проведенням вхідних стендових випробувань усі об'єкти пройшли зовнішнє очищення й зовнішній огляд. При виявленні тріщин корпусу, відсутності гумових ущільнень насоси вибраковувалися.

Випробування насосів проводилися на гідравлічному маслі М–10В<sub>2</sub>, яке має при температурі 50°C в'язкість (60...70) 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с. Температура робочої рідини при випробуванні становила 50 ± 5 °С [12].

Контроль проводили в такій послідовності:

1. Установили насос на стенд, застосовуючи залежно від марки насосу потрібну оснастку. Рукав усмоктування з'єднали з баком, рукав напірної секції – з дроселем.

2. Створюючи дроселем високий тиск навантаження, визначили тиск, що максимально розвивається.

3. За умови нагнітання номінального тиску (для насосів НШ – 32А становить 10 МПа, для НШ – 50А – 14 МПа) зробили перевірку насоса на продуктивність. Для цього вибрали дві поділки на шкалі лічильника рідини, що відповідають початку й закінченню відліку. При проходженні стрілки лічильника рідини через поділки, відповідні початку й кінцю відліку, тумблером вмикали та вимикали імпульсний лічильник. За сумарним числом обертів (імпульсів) і контрольним обсягом рідини визначили дійсну подачу насосу та об'ємний ККД.

У процесі випробування стежили за герметичністю й підсмоктуванням повітря в насосі.

При роботі агрегату фіксували просочування робочої рідини через ущільнення, а також поява емульсованої рідини і спінювання її в баку.

Після проведення вхідного контролю при незадовільних експлуатаційних показниках насос відправлявся на мікрометражні дослідження.

Тривалість випробування насосів складала 50...60 год., так як даний період експлуатації характеризується припрацюванням пар тертя і прискореним зношенням деталей. Результати досліджень випробування насосів надано в таблицях 1 і 2 та графічно представлені на рисунках 5 і 6.

Проведений аналіз отриманих результатів показує, що у насосів, деталі качаючих вузлів яких оброблені епіламом, при напрацюванні п'ятдесят годин спостерігається стабілізація подачі насоса (у насоса НШ–50–2 вона становить 42,7 см<sup>3</sup>/об, а НШ–32–2 відповідно ,0 см<sup>3</sup>/об), тоді як у насосів, які не оброблювалися епіламом, протягом всього періоду обкатки спостерігається зменшення подачі насосу і період її стабілізації відсутній.

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень зміни коефіцієнта подачі насосів НШ–50–2 від наробітку

Час обкатки насоса, год.	Робочий об'єм насоса, см <sup>3</sup> /об.	Робочий тиск, P <sub>p</sub> , МПа	Дійсна подача насоса, см <sup>3</sup> /об.	Коефіцієнт об'ємної подачі насоса, η
Насос НШ–50–2 (відновлений під другий ремонтний розмір, оброблений епіламом)				
10	50,0	14,0	43,6	0,872
20	50,0	14,0	43,4	0,868
30	50,0	14,0	43,1	0,862
40	50,0	14,0	42,8	0,856
50	50,0	14,0	42,7	0,854
60	50,0	14,0	42,7	0,854
Насос НШ–50–2 (відновлений під другий ремонтний розмір, не оброблений епіламом)				
10	50,0	14,0	43,7	0,874
20	50,0	14,0	43,4	0,868
30	50,0	14,0	42,8	0,856
40	50,0	14,0	42,5	0,850
50	50,0	14,0	42,3	0,846
60	50,0	14,0	42,1	0,842

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень зміни коефіцієнта подачі насосів НШ–32–2 від наробітку

Час обкатки насоса, год.	Робочий об'єм насоса, см <sup>3</sup> /об.	Робочий тиск, P <sub>p</sub> , МПа	Дійсна подача насоса, см <sup>3</sup> /об.	Коефіцієнт об'ємної подачі насоса, η
1	2	3	4	5
Насос НШ–32–2 (відновлений під другий ремонтний розмір, оброблений епіламом)				
10	32,0	14,0	27,9	0,871
20	32,0	14,0	27,6	0,863
30	32,0	14,0	27,4	0,856
40	32,0	14,0	27,1	0,845
50	32,0	14,0	27,0	0,844
60	32,0	14,0	27,0	0,844

## Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
Насос НШ–32–2 (відновлений під другий ремонтний розмір, не оброблений епіламом)				
10	32,0	14,0	27,8	0,869
20	32,0	14,0	26,6	0,863
30	32,0	14,0	27,1	0,847
40	32,0	14,0	26,8	0,838
50	32,0	14,0	26,6	0,831
60	32,0	14,0	26,4	0,825

Побудовані отримані функціональні залежності представлені графічно на рисунках 5 та 6.

Детальний аналіз графічної частини показує, що різниця між коефіцієнтами подачі насосів за перші двадцять годин роботи є не значною і обумовлюється загальним припрацюванням деталей і формуванням розмірних ланцюгів в з'єднаннях качаючого вузла за рахунок стабілізації геометричного положення деталей, що має однакові наслідки для насосів, як оброблених так і не оброблених епіламом.

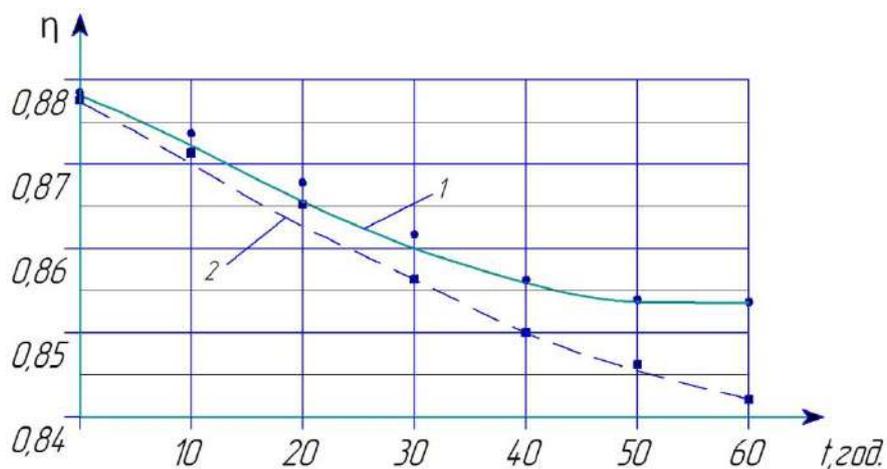


Рис. 5. Залежність коефіцієнта подачі ( $\eta$ ) насоса НШ–50–2 від наробітку  $t$ : 1 – деталі качаючого вузла насоса оброблені епіламом; 2 – деталі качаючого вузла насоса не оброблені епіламом.

Послідуюча різниця коефіцієнтів подачі насосів обумовлюється зміною ресурсних параметрів в результаті зношення деталей качаючого вузла насоса. При цьому у відремонтованих насосів НШ–50–2, деталі качаючих вузлів яких оброблені епіламом, при наробітку шістьдесят годин коефіцієнт подачі на 1,4% перевищує коефіцієнт подачі відремонтованих насосів, які не оброблено епіламом. Для насосів НШ–32–2 даний показник становить 2,25 %.

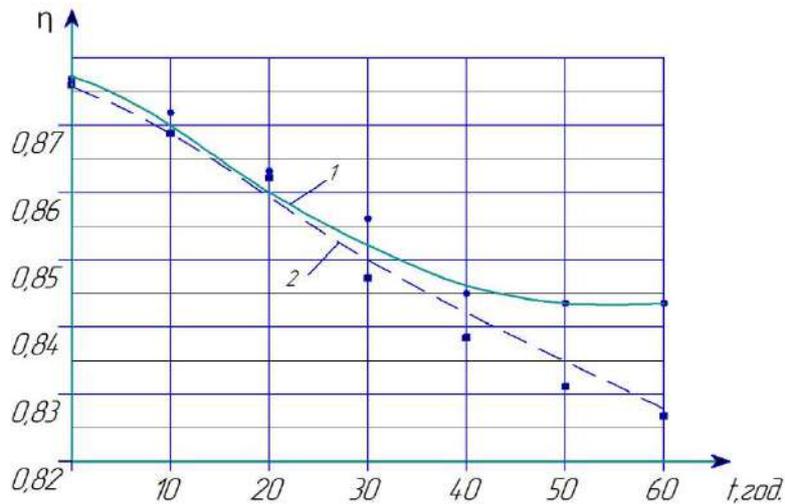


Рис. 6. Залежність коефіцієнта подачі ( $\eta$ ) насоса НШ–32–2 від наробітку  $t$ : 1 – деталі качаючого вузла насоса оброблені епіламом; 2 – деталі качаючого вузла насоса не оброблені епіламом.

Більша різниця показника коефіцієнта подачі для насосів НШ – 32–2 пояснюється тим, що питомі навантаження, які діють на деталі в спряженнях качаючого вузла, мають більші значення за рахунок менших розмірів площин тертя при заданому тиску робочої рідини та обертів вала, як для насосів з теоретичним робочим об'ємом  $q_m=50 \text{ см}^3/\text{об}$  так і для насосів з робочим об'ємом ( $q_m=32,0 \text{ см}^3/\text{об}$ ).

Кращі показники коефіцієнта подачі для насосів, оброблених епіламом, можна пояснити тим, що на поверхні деталі, яка оброблена поверхнево-активними речовинами, формується шар орієнтованих молекул, які радикально міняють енергетичні властивості поверхні деталі не змінюючи її структуру, а лише модифікуючи її, надаючи поверхні антифрикційні, антиадгезійні та захисні властивості. При цьому геометричні розміри оброблюваної деталі залишаються незмінними, так як товщина захисного шару плівки складає приблизно  $-80 \text{ \AA}$  ( $10^{-8} \text{ см}$ ), що не впливає на розмірний ланцюг качаючого вузла насоса.

**Висновки.** Проведені дослідження з підвищення експлуатаційної надійності гідравлічних насосів модифікації НШ–К за рахунок застосування епіламних покриттів робочих поверхонь деталей качаючих вузлів показали:

1. В процесі обкатки відремонтованих шестеренних насосів, у яких деталі качаючих вузлів були оброблені епіламом, при напрацюванні п'ятдесят годин спостерігається стабілізація їх подачі, яка для насоса НШ-50-2 становить  $42,7 \text{ см}^3/\text{об}$ , а для насоса НШ-32-2 відповідно  $27,0 \text{ см}^3/\text{об}$ , тоді як у насосів, які не оброблювалися епіламом, на протязі всього періоду обкатки спостерігається зменшення подачі насоса і період її стабілізації відсутній, що пояснюється формуванням на



поверхні деталей шару орієнтованих молекул, які радикально міняють енергетичні властивості поверхні, надаючи поверхні антифрикційні, антиадгезійні та захисні властивості.

2. Незначна різниця між коефіцієнтами подачі насосів за перші двадцять годин роботи характеризується загальним припрацюванням деталей і формуванням розмірних ланцюгів в з'єднаннях качаючого вузла за рахунок стабілізації геометричного положення деталей, що має однакові наслідки для насосів, як оброблених так і не оброблених епіламом.

3. Зростання різниці коефіцієнтів подачі насосів після напрацювання двадцять годин, обумовлюється зміною ресурсних параметрів в результаті зношення деталей качаючого вузла насоса. При цьому у відремонтованих насосів НШ–50–2, деталі качаючих вузлів яких оброблені епіламом, при наробітку шістдесят годин коефіцієнт подачі на 1,4% перевищує коефіцієнт подачі відремонтованих насосів, які не оброблено епіламом. Для насосів НШ–32–2 даний показник становить 2,25 %.

Результати проведених експериментальних досліджень підтверджують ефективність застосування поверхнево-активних речовин з метою збільшення післяремонтного ресурсу шестеренних насосів

Список використаних джерел

1. Ремонт автомобілів: навчальний посібник / В. Я. Чабанний та ін.; за ред. В. Я. Чабанного. Кіровоград: Кіровоградська районна друкарня, 2007. 720 с.

2. Черкун В. В. Підвищення зносостійкості цапф шестерень гідронасосів фінішною антифрикційною безабразивною обробкою: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2011. 19 с.

3. Fox M. Polymer Tribology. *Lube Magazine*. 2016. Vol. 135. P. 32–37.

4. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»* 2017. P. 155–158.

5. Дідур В. В., Паніна В. В., В'юник О. В. Спосіб підвищення післяремонтної довговічності шестеренних насосів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 110–117.

6. В'юник О. В., Дідур В. В., Паніна В. В., Дашивець Г. І. Теоретичні підходи застосування різних присадок при обкатуванні гідромашин. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-20.



7. Comparative Study of Characteristic of Lubricant Oils in Gasoline and Compressed Natural Gas Engines / E. Adril et al. *European Journal of Scientific Research*. 2009. Vol. 30, № 2. P. 282–293.

8. Закалов О. В., Закалов І. О. Основи тертя і зношування в машинах: навч. посібник. Тернопіль: ТНТУ, 2011. 322 с.

9. Nemyrovskiy Y., Shepelenko I., Medvedieva O. Improving the Durability of Agricultural Machinery Parts by Applying Antifriction Coatings. *Acta Scientifica Agriculture*. 2020. Vol. 4. № 5. P. 46-57.

10. Ковалевський С. В., Лукічов О. В., Матвієнко С. А. Аналіз стану проблеми реновації деталей автомобілів технологічними методами. *Вісник ЖДТУ. Сер. Технічні науки*. 2012. № 3. С. 74–79.

11. Tung S. C., McMillan M. L. Automotive tribology overview of current advances and challenges for the future. *Tribology International*. 2004. Vol. 37. P. 517–536. DOI: 10.1016/j.triboint.2004.01.013.

12. Aldousiri B., Shalwan A., Chin C. W. A review on tribological behavior of polymeric composites and future reinforcements. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2013. DOI: 10.1155/2013/645923.

### **РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ВПЛИВУ ЕПІЛАМНИХ ПОКРИТТІВ НА ЗНОС ДЕТАЛЕЙ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСУ**

**В'юник О.В., Дідур В.В., Сірий І.С.**

#### *Анотація*

Питання підвищення ефективності використання мобільних машин, оснащених гідравлічними системами – важливе питання сьогодення. Ефективність роботи сільськогосподарської техніки залежить, від її надійності. Основним показником, що визначає працездатність і ресурс техніки є інтенсивність зношування деталей тертя. Одним з методів підвищення довговічності трібоспрямих мобільної сільськогосподарської техніки є застосування фінішної антифрикційної безабразивної обробки. В статті представлено гідравлічну принципову схему стенду на якому проводились експериментальні дослідження. Описано порядок проведення стендових випробувань, надано результати експериментальних досліджень. Результати проведених експериментальних досліджень підтверджують ефективність застосування поверхнево-активних речовин з метою збільшення післяремонтного ресурсу шестерених насосів

**Ключові слова:** техніка, шестеренний насос, дослідження, експеримент, поверхнево-активні речовини, вузол тертя, залежність.

### **РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЛИЯНИЯ ЭПИЛАМНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ИЗНОС ДЕТАЛЕЙ ШЕСТЕРЕННОГО НАСОСА**

**Вьюник О.В., Дидур В.В., Серый И.С.**

#### *Аннотация*

Сегодня вопрос повышения эффективности использования мобильных машин, оснащенных гидравлическими системами стоит очень остро. Основным



показателем, определяющим работоспособность и ресурс техники является интенсивность износа деталей трения. Правильно выбрав материал и покрытие трибосопряжений, можно значительно повысить износостойкость и долговечность узлов трения при эксплуатации. В статье представлена гидравлическая принципиальная схема стенда на котором проводились экспериментальные исследования. Описан порядок проведения стендовых испытаний гидронасосов, предоставлены результаты экспериментальных исследований. Результаты анализа полученных зависимостей подтверждают эффективность применения поверхностно-активных веществ с целью увеличения послеремонтного ресурса шестеренных насосов

**Ключевые слова:** методика, шестеренчатый насос, исследование, эксперимент, поверхностно-активные вещества, узел трения, зависимость.

## **THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES THE EFFECT OF EPLAM COATINGS ON THE WEAR OF THE GEAR PUMP PARTS**

**Viunyk O., Didur V., Sieryi I.**

### *Summary*

The issue of improving the efficiency of mobile machines equipped with hydraulic systems is an important issue of today. The efficiency of agricultural machinery is mainly dependent on its reliability, namely the ability to perform specified functions with minimal use of labor and material resources for extended periods of time. The main indicator that determines the efficiency and resources of equipment is the intensity of wear on the friction parts. Operating experience shows that up to 90% of machine parts fail due to wear. By choosing the right material and coating of the tribocouplings, you can significantly increase the wear resistance and durability of the friction units during operation. The most promising and economical way to increase the efficiency and resource of friction units of mobile agricultural machines is to optimize the choice of coatings for parts of the tribocoupling. One of the methods of increasing durability of the tribocouplings of the mobile agricultural machinery is the use of an antifriction non-abrasive finishing treatment. This work is a part of the research on improving the post-repair durability of friction units of gear pumps by reducing wear of parts during the run-in period. The article presents a hydraulic schematic diagram of the stand КИ-4815М on which experimental studies were conducted. The order of bench tests of hydraulic pumps is described, the results of experimental research on receiving functional dependence of structural parameters of a technical condition of the details treated by epilam from functional parameters and a hydraulic pump operating time are given. The analysis of the received dependences is carried out. The results of experimental studies shows that the use in the technological process of the repair of gear pumps modification НШ-К, operations of treatment of parts of the pumping unit by epilam "Polysam-05" confirms the effectiveness of surfactants to increase the post-repair lifespan of gear pumps.

**Key words:** technique, gear pump, research, experiment, surfactants, triboconjugation, dependence.



УДК 621.91

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-17

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ, НАНЕСЕННОЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ, НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Колодій О. С., к.т.н.

ORCID: 0000-0003-2237-6730

Сушко О. В., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9840-3611

*Таврический государственный агротехнологический университет  
имени Дмитрия Моторного*

e-mail: oleksandr.kolodii@tsatu.edu.ua

*Постановка проблемы.* В практике металлообработки в настоящее время широко используют жидкие, газообразные и твердые смазочно-охлаждающие технологические средства. Применение таких средств является важным фактором расширения технологических возможностей процесса резания. Наибольшее распространение в качестве твердых материалов получили графит, дисульфид молибдена, окислы и соли металлов, а также твердые органические соединения и др. Можно привести много примеров того, как среда, нанесенная на поверхность, влияет на механические свойства обрабатываемого материала. Одним из таких примеров может служить результат экспериментального исследования влияния тетрахлорметана на механизм резания [1-3]. Учитывая неизбежные затраты, а также экологические аспекты, связанные с использованием жидких смазывающих технологических средств, применение сред, с помощью которых можно наиболее полно реализовать технологию минимальной смазки, является весьма актуальным и перспективным [4,5].

*Анализ последних исследований.* Ученые, такие как Чжоу Ян, занимающиеся данной проблематикой, исследовали такие среды как углеводороды, воски, парафин, свинец, графит и т. п. [6-8]. Так же Saynatjoki M., Koutio M. Drilling исследовали твердые смазки, наносимые на обрабатываемую поверхность, 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 [9-11]. Кроме того, такой же эффект, как при использовании твердой смазки, был получен при проведении экспериментального резания с образованием масляной пленки путем нанесения на обрабатываемую поверхность рапсового, парафинового и касторового масла [12-14]. Следовательно, влияние





среды на обрабатываемой поверхности может оказаться таким же сильным, как в случае резания с обычной подачей смазочно-охлаждающей жидкости на переднюю грань резца [15,16]. Поэтому в данном случае при исследовании различных факторов можно применять те же самые методы, какие используются в случае изучения резания с применением обычных методов подачи смазочно-охлаждающей жидкости.

*Цель работы.* Целью работы является исследование влияния на силы резания среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность в виде слоя стеариновой кислоты, а также явлений, происходящих при этом в механизме резания.

*Основная часть.* Покрывающие пленки из жирных кислот, растительных жиров, минеральных масел, парафина и т. п. веществ, хотя и обладают некоторым отличием, в основном оказывают одинаковое действие на процесс резания. С учетом этого сходства для проведения данного эксперимента с различными передними углами резания была выбрана стеариновая кислота, дающая наиболее ощутимый эффект.

Испытания проводили по следующим условиям: способ резания – ортогональное резание со скоростью 1 м/мин за счет подачи стола вертикально-фрезерного станка; обрабатываемый материал – в основном медь; кроме того, мягкая сталь, алюминий и латунь в соотношении 4:6. На длине резания (250 мм) были расположены три последовательных зоны длиной по 80 мм: вспомогательный участок, участок с покрытием и очищенный участок (резание всухую). Толщина обрабатываемого листа составляла 3 мм.

Процесс исследовался при использовании режущего инструмента (материал – Т15К6); с различными значениями переднего угла:  $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ ; задний угол  $\gamma = 6^\circ$ . Заточка инструмента производилась алмазным кругом. На длине резания 80 мм определяли коэффициент резания по результатам замера длины стружки.

На участке обрабатываемой поверхности, покрытом стеариновой кислотой, сопротивление резанию оказалось ниже, чем на очищенном участке при резании всухую. На рис. 1 показана зависимость между сопротивлением и глубиной резания при обработке меди резцами с различными значениями передних углов.

Поскольку снижение сопротивления резанию при наличии покрытия мало зависит от глубины резания, в этом случае можно предполагать значительное уменьшение вдавливающего усилия. Эта тенденция сохраняется при любых значениях переднего угла, хотя заметны некоторые различия, состоящие в том, что при меньших передних углах, как это видно из рисунка, сопротивление резанию уменьшается в большей степени.

Под влиянием слоя стеариновой кислоты коэффициент резания увеличивается. При резании очищенной поверхности коэффициент резания возрастает с увеличением глубины резания, постепенно приближаясь к характерной для данного переднего угла величине.

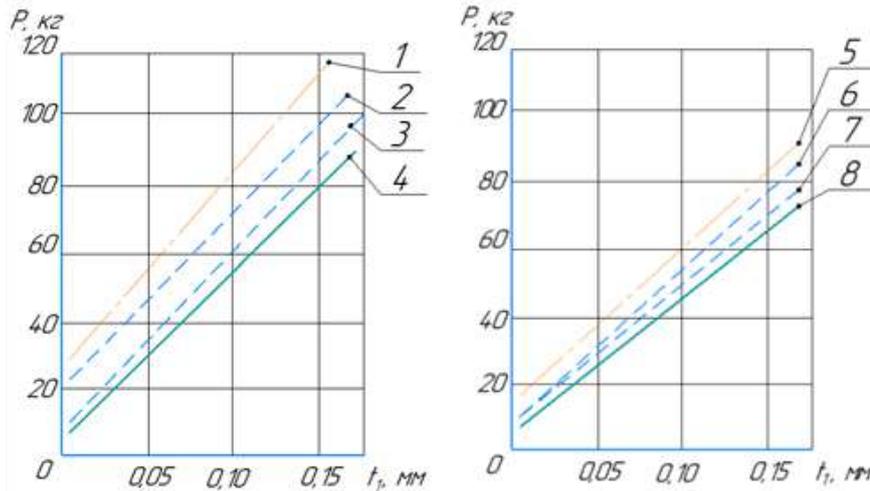


Рис. 1. Зависимость сопротивления резанию от глубины резания: 1, 2 – резание без покрытия при переднем угле 20 и 25°; 3, 4 – резание с покрытием при переднем угле 20 и 25°; 5, 6 – резание без покрытия при переднем угле 30 и 35°; 7, 8 – резание с покрытием при переднем угле 30 и 35°

При резании меди особенно хорошо проявился масштабный эффект влияния на величину угла сдвига. Можно предполагать действие какого-то механизма, препятствующего увеличению угла сдвига при деформации поверхностного слоя формирующейся стружки. Если это так, то влияние поверхностного слоя должно быть уменьшено с увеличением глубины резания при постепенном увеличении угла сдвига. Кроме того, изменения коэффициента резания при малых передних углах распространяются до больших значений глубины резания. Обычно, чем меньше передний угол, тем большую степень усадки имеет стружка. Поэтому можно предполагать, что при малых передних углах распространение изменений коэффициента резания до случаев резания с большой глубиной, а также усиление влияния поверхностного слоя на механизм резания обусловлено большими поверхностными деформациями.

С другой стороны, при нанесении на обрабатываемую поверхность слоя стеариновой кислоты, в отличие от случая резания очищенной поверхности (без покрытия), коэффициент резания приобретает большую величину при малых значениях глубины резания, т.е. в случае резания с покрытием масштабный эффект оказывает действие, противоположное случаю резания всухую. Нанесенный на обрабатываемую поверхность слой такого эффективного покрытия, как стеариновая кислота, не только

полностью аннулирует масштабный эффект, характерный для резания всухую, но за счет активного действия стеариновой кислоты придает медной поверхности эффект увеличения угла сдвига (по сравнению со случаем резания чистой медной поверхности).

При экспериментальном резании меди изменение сил сопротивления резанию и глубины резания условно оценивали по изменению усилия вдавливания. Для изучения причин изменения этого усилия вдавливания рассматривали характерную зависимость между углом сдвига  $\varphi$  и углом  $(\beta - \alpha)$ , между результирующей силой и направлением резания. Здесь  $\beta$  – угол трения на передней грани резца,  $\alpha$  – передний угол резца.

Фактически не существует точной плоскости сдвига, а имеется некоторая зона сдвига. С этой точки зрения при сильной усадке происходят сложные процессы искривления и разрушения поверхности стружки. Для упрощения анализа и выявления общих особенностей механизма резания была принята простая модель плоскости сдвига в непрерывной стружке (рис. 2).

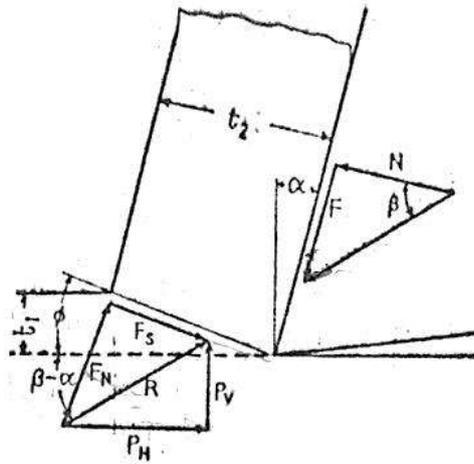


Рис. 2. Модель ортогонального резания

При глубине резания  $t_1$ , толщине стружки  $t_2$  длине резания  $l_1$  и длине стружки  $l_2$  коэффициент резания  $r_c$  равен:

$$r_c = \frac{t_1}{t_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad (1)$$

На основании этого угол сдвига  $\varphi$  может быть выражен следующей зависимостью:

$$\varphi = \tan^{-1} \left( \frac{r_c \cdot \cos \alpha}{1 - r_c \cdot \sin \alpha} \right) \quad (2)$$

Кроме того, если главную составляющую силы резания обозначить через  $P_H$ , а составляющую силы реакции  $P_V$ , то получим выражение:



$$\beta - \alpha = \tan^{-1} \left( \frac{P_V}{P_H} \right) \quad (3)$$

С увеличением глубины резания  $t_1$  случаи резания всухую и с покрытием приближаются к одной прямой, которая почти соответствует формуле Мерчанта [2]:

$$\varphi + \frac{\beta}{2} - \frac{\alpha}{2} = \frac{C}{2} \quad (4)$$

Суть теории Мерчанта состоит в том, что, хотя существует некоторое расхождение между практическим и теоретическим смыслом константы  $C$  обрабатываемого материала, все равно за счет соответствующего подбора константы  $C$  для многих материалов можно приближенно применять приведенную выше формулу [8].

Наименьшее значение этой константы характерно для меди, затем для алюминия. Эффект действия покрытия, нанесенного на обрабатываемую поверхность, в большей степени проявляется при резании указанных материалов с низким значением константы  $C$ . Также можно выявить влияние толщины срезаемого слоя по изменению величины  $C$  при разной глубине резания  $t_1$ .

Как известно, за счет нанесения на обрабатываемую поверхность покрытия одновременно с увеличением угла сдвига происходит возрастание угла трения  $\beta$ . Причина увеличения угла еще недостаточно ясна. Однако, можно предполагать, что, поскольку сила трения на передней грани резца определяется сопротивлением сдвигу в материале стружки, а изменение коэффициента трения вызвано в основном уменьшением или увеличением нормальных напряжений, то и воздействие от поверхности стружки с нанесенным покрытием при уменьшенной площади сечения в плоскости сдвига и изменении напряженного состояния на передней грани резца вызывает некоторую стабилизацию напряжений трения и переход к состоянию резания со значительным уменьшением нормальных напряжений.

Величина увеличения угла сдвига под действием нанесенного покрытия почти не зависит от переднего угла резца, однако, величина уменьшения силы сопротивления резанию будет тем больше, чем меньше передний угол. Это происходит потому, что, как бы ни различались величины изменений угла  $\varphi$ , вызванное этими изменениями уменьшение площади сечения в плоскости сдвига остается большим. В конечном итоге, поскольку зависимость между площадью сечения в плоскости сдвига  $A_S$  и углом  $\varphi$  через ширину резания  $w$  выражается уравнением:

$$A_S = \frac{wt_1}{\sin \varphi}, \quad (5)$$

можно записать:

$$\frac{dA_S}{d\varphi} = \frac{wt_1 \cos \varphi}{\sin^2 \varphi} \quad (6)$$

Откуда видно, что при резании в условиях малых значений (например, резцом с небольшим значением  $\alpha$ ), даже небольшое изменение  $\varphi$  приведет к значительному изменению  $A_S$ .

Известно, что одним из факторов масштабного эффекта влияния на сопротивление резанию является уменьшение угла сдвига в зоне обработки с малой глубиной резания. Поэтому важно проверить, обусловлено ли показанное на рис. 1 уменьшение сопротивления резанию при нанесении покрытия стеариновой кислоты увеличением угла сдвига или уменьшением прочности обрабатываемого материала. Из рис. 2 видно, что усилие сдвига  $F_S$  в плоскости сдвига равно:

$$F_S = P_H \cos \varphi - P_V \sin \varphi \quad (7)$$

С другой стороны, площадь сечения в плоскости сдвига на основании формулы (5) может быть графически определена графиком, где по оси абсцисс отложены значения  $A_S$ , а по оси координат – значения  $F_S$  (рис. 3).

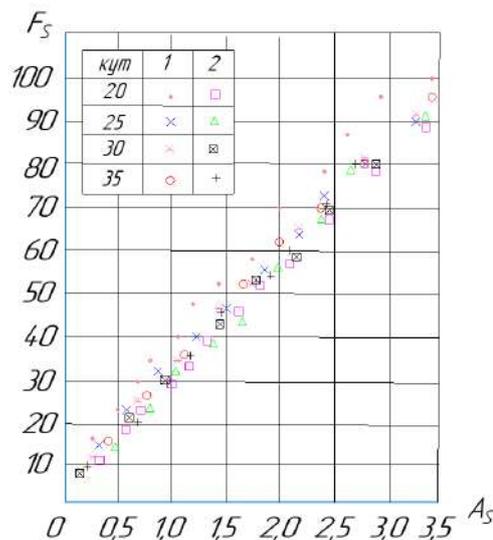


Рис. 3. Зависимость между усилием сдвига и площадью сечения в плоскости сдвига: 1 – очищенная поверхность; 2 – поверхность с покрытием

В этом случае наклон  $\delta F_S / dA_S$  выражает предел прочности сдвига материала в плоскости сдвига, откуда видно, что для установленного материала этот параметр остается стабильным в широком диапазоне режимов резания. На рис. 3 также точки располагаются почти по общей прямой линии без заметных изменений прочности от глубины резания, переднего угла или наличия покрытия на обрабатываемой поверхности. Если и происходит снижение сдвиговой прочности, то можно



предполагать, что это обусловлено только ограничением поверхностного слоя. Следовательно, основную роль в уменьшении сил сопротивления резанию играет фактор увеличения угла сдвига.

*Вывод.* Анализ результатов исследования влияния среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность, на условия низкоскоростного ортогонального резания позволяет утверждать, что наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига и к снижению сил сопротивления резанию. Однако, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца. Это указывает на то, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала.

#### Список использованных источников

1. Skliar A. 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.
2. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference "Kramar Readings" 2017*. P. 155-158
3. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Condor Publishing House. 2018. 380 p.
4. Boltyanska N. Justification of Choice of Heating System for Pigsty. *TEKA. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.
5. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
6. Резание и инструмент в технологических системах. Харків, 2015. Вып. 85. URL: [http:// library.kpi.kharkov.ua](http://library.kpi.kharkov.ua) > files > JUR > rez\_85\_2015/ (дата звернення: 10.10.2020).
7. Чжоу Ян. Оценка оптимальных условий лезвийной обработки углеграфитов с содержанием антрацита 70 %: магистерская диссертация / ТПУ. Томск, 2017. URI: <http://earchive.tpu.ru/handle/11683/41186> (дата звернення: 10.10.2020).
8. Yue Y. Cutting fluid mist formation via atomization mechanisms: Thesis (Ph.D.) / Michigan Technological University. *Dissertation Abstracts International*. 2000. Vol. 61-01. URI: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2000PhDT.....45Y/abstract> (дата звернення: 10.10.2020).



9. Saynatjoki M., Koutio M. Drilling test-a method for cutting. *Tribologia*. 2002. Vol. 11, № 2. P. 30-38.

10. Колодій О. С., Сушко О. В. Аналіз плоского пластичного плину матеріалу при оцінюванні оброблюваності на металорізальних станках. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 1. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-1-17.

11. Автоматичне управління процесами обробки металів різанням: методичний посібник з виконання лабораторних робіт / О. С. Колодій, С. В. Кюрчев, О. В. Сушко, О. О. Ковальов. Мелітополь: Люкс, 2020. 136 с.

12. Направленное формирование свойств изделий машиностроения / А. С. Васильев и др.; под ред. А. И. Кондакова. Москва: Машиностроение, 2005. 352 с.

13. Сошко А. И., Сошко В. А. Смазочно-охлаждающие средства в механической обработке металла. Херсон: Олди-плюс, 2008. 618 с.

14. Sushko O. V., Kolodii O. S., Penyov O. V. Individual forecasting of technical condition of machines and development of method for determining the conditional function of distributing their residual resource. *Machinery & Energetics. Journal of Rural Production Research. Scientific Herald of National University of Life and Environmental Science of Ukraine*. Kyiv, 2019. Vol. 10, № 4. P. 63-69.

15. Skliar O. 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.

16. De Chiffre L., Wanheim T. Chip compression relationship in metal cutting. *NAMRC-IX, SME Proc.* 1981. P. 231-234.

## **ВПЛИВ СЕРЕДОВИЩА, НАНЕСЕНОГО НА ОБРОБЛЮВАЛЬНУ ПОВЕРХНЮ, НА ПРОЦЕС РІЗАННЯ**

**Колодій О.С., Сушко О.В.**

### *Анотація*

В роботі розглянуті питання, пов'язані з впливом на сили різання середовища, нанесеного на оброблювану поверхню у вигляді шару стеаринової кислоти, а також явищ, які при цьому відбуваються в механізмі різання. Тверді змазки, які наносяться на оброблювальну поверхню, показали, що навіть без подачі на передню грань різця рідкої змазки можна досягнути такого ж позитивного ефекту збільшення коефіцієнту різання (кута зсуву), зменшення сил різання та покращення стану обробленої поверхні, який досягається в умовах різання із застосуванням змащувально-охолоджуючої рідини. Тому при дослідженнях можливо застосовувати ті ж самі методи, які використовуються у випадку вивчення процесів різання із застосуванням звичайних методів подачі змащувально-охолоджуючої рідини.



Проведені експериментальні дослідження дозволили встановити, що наявність середовища, нанесеного у вигляді покриття на оброблювану поверхню, призводить до збільшення кута зсуву матеріалу та зниженню сил опору різанню. Однак, з іншого боку, сприяє збільшенню коефіцієнта тертя на передній грані різця. Це вказує на те, що середовище, яке наноситься на поверхню, слід вибирати з урахуванням властивостей оброблюваного матеріалу.

**Ключові слова:** режими різання, змащувально-охолоджувальні технологічні речовини, стеаринова кислота, кут зсуву, опір різанню.

## ВЛИЯНИЕ СРЕДЫ, НАНЕСЕННОЙ НА ОБРАБАТЫВАЕМУЮ ПОВЕРХНОСТЬ, НА ПРОЦЕСС РЕЗАНИЯ

Колодий А.С., Сушко О.В.

### *Аннотация*

В работе рассмотрены вопросы, связанные с влиянием на силы резания среды, нанесенной на обрабатываемую поверхность в виде слоя стеариновой кислоты, а также явлений, происходящих при этом в механизме резания. Твердые смазки, наносимые на обрабатываемую поверхность, 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. Поэтому возможно применять те же самые методы, какие используются в случае изучения резания с применением обычных методов подачи смазочно-охлаждающей жидкости.

Проведенные экспериментальные исследования позволили установить, что наличие среды, нанесенной в виде покрытия на обрабатываемую поверхность, приводит к увеличению угла сдвига материала и к снижению сил сопротивления резанию. Однако, с другой стороны, способствует увеличению коэффициента трения на передней грани резца. Это указывает на то, что среду, наносимую на поверхность, следует выбирать с учетом свойств обрабатываемого материала.

**Ключевые слова:** режимы резания, смазочно-охлаждающие технологические средства, стеариновая кислота, угол сдвига, сопротивление резанию.

## INFLUENCE OF THE MEDIUM APPLIED TO THE WORKED SURFACE ON THE CUTTING PROCESS

Kolodii O., Sushko O.

### **Summary**

The article discusses the issues related to the influence on the cutting forces of the medium, which is applied to the treated surface in the form of a layer of stearic acid, as well as the phenomena occurring in this process in the cutting mechanism. Solid lubricants applied to the machined surface showed that even without supplying liquid lubricant to the cutting edge of the tool, they have the same positive effect of increasing the cutting ratio (shear angle), reducing cutting forces and improving the condition of the machined surface, which is achieved under cutting conditions using cutting fluid. Therefore, the same methods can be used to study the phenomena occurring in this case as in the case of a conventional supply of cutting fluid. Taking into account the inevitable costs, as well as the environmental aspects associated with the use of liquid lubricating





process agents, the use of such media that can be used for the most complete implementation of the minimum lubrication technology is very relevant and promising.

The process was investigated using a cutting tool made of T15K6 material with different values of the rake angle ( $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ$ ) and the value of the clearance angle  $\gamma = 6^\circ$  on various materials: copper, mild steel, aluminum, brass. The cutting coefficient was determined from the results of measuring the chip length.

The dependence of the cutting resistance on the depth of cut for processing without coating and with coating has been established; thanks to the model of orthogonal cutting, the general features of the mechanism during cutting are revealed, and the influence of the thickness of the cut layer on the depth of cut is established

The carried out experimental studies made it possible to establish that the presence of a medium applied in the form of a coating on the surface to be treated leads to an increase in the shear angle of the material and to a decrease in the cutting resistance forces. However, on the other hand, this contributes to an increase in the coefficient of friction at the leading edge of the tool (cutter). This indicates that the medium to be applied to the surface should be selected taking into account the properties of the material to be treated.

**Key words:** cutting conditions, lubricating and cooling technological means, stearic acid, shear angle, cutting resistance.



УДК 631.363.7

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-18

## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ АГРЕГАТУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА- КОРМОРОЗДАВАЧА

Болтянський Б. В.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-2072-4025

Парієв А. О.<sup>2</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-7193-1409

Дереза О. О.<sup>1</sup>, к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-9358-7968

Дереза С. В.<sup>1</sup>, ст. викл.,

ORCID: 0000-0001-9797-0967

Дробишев О. О.<sup>2</sup>, інж.,

ORCID: 0000-0002-7302-5060

Коротченко Т. М.<sup>2</sup>, інж.

ORCID: 0000-0002-1660-7187

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет

імені Дмитра Моторного

e-mail: serhii.dereza@tsatu.edu.ua

<sup>2</sup>Запорізький науково-дослідний центр з механізації тваринництва

e-mail: imtuaan@ukr.net

*Постановка проблеми.* Однією із основних тенденцій розвитку техніки для молочного і м'ясного скотарства являється розробка і виробництво різноманітних по конструктивному виконанню та функціональним можливостям машин для приготування і роздавання кормів. Це дає сільгоспвиробникам широкі можливості при комплектуванні оптимального складу парку техніки для ефективного годування тварин із врахуванням усіх особливостей кожного конкретного підприємства: розмір ферми, спеціалізація, рівень розвитку інфраструктури, рівень технічного оснащення, технологія годування, кормові раціони тощо [1-4].

В дійсний 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. Для цього розроблені і випускаються універсальні транспортно-технологічні комплекси, які отримали назву змішувачів-кормороздавачів (іноді їх ще називають міксерами, кормозмішувачами тощо) [5-8].

Раніше найбільш поширеними в закордонних господарствах були горизонтальні кормозмішувачі, і частка змішувачів-кормороздавачів з горизонтальною системою подрібнення-змішування (з одним, двома, трьома або чотирма шнеками) на європейському ринку до останнього часу перевищувала половину всього об'єму продаж. В дійсний час



представники більшості фірм відмічають різке збільшення попиту споживачів на змішувачі-кормороздавачі із вертикальною системою подрібнення-змішування [9-12].

Тенденція збільшення попиту на дане обладнання обумовлена високою якістю приготування кормосуміші із збереженням структури корму. Крім того, воно має просту конструкцію, виконує ефективну обробку тюків і рулонів, зручне в експлуатації та обслуговуванні. У розрахунку на 1 м<sup>3</sup> місткості бункера вертикальні кормозмішувачі дешевші горизонтальних, мають менше швидко зношуваних деталей, легше переобладнуються на двостороннє роздавання корму [13,14].

При наявності великого асортименту змішувачів-кормороздавачів з вертикальними робочими органами (шнеками) часто постає питання, а як для конкретного мобільного обладнання підібрати оптимальний енергетичний засіб?

*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. Питання енергозбереження та енергоефективності з кожним роком стають все більш актуальними [15-17].

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. Пошук шляхів зниження енергоємності даного процесу безперервно пов'язаний не тільки з технологією підготування кормів до згодовування, вибором технологічних засобів для роздавання кормів, але і з вибором енергетичних засобів для агрегатування цих засобів [18,19].

Вивчення процесу одночасного подрібнення-змішування кормових компонентів присвячені роботи Резніка Є.І., Комарова В., Ревенка І.І., Ачкевич О. М., Беліка Д. Ю., Хмельовського В.С. [20-23]. У роботах названих авторів обґрунтовані різні конструктивно-функціональні схеми подрібнювачів-змішувачів, та визначені основні параметри. Аналіз результатів проведених досліджень показує, що окремі питання, які характеризують ефективність роботи подрібнювачів-змішувачів, вивчені недостатньо, а конструктивно-технологічні схеми подрібнювачів-змішувачів не відзначаються раціональністю. Про це свідчать і високі питомі витрати електроенергії, матеріаломісткість та потужність на агрегатування мобільних змішувачів-кормороздавачів. Аналіз результатів наукових досліджень і публікацій підтверджує доцільність продовження вивчення проблеми розвитку технологій і технічних засобів на фермах ВРХ.



*Формулювання цілей статті.* Визначити аналітичним шляхом потужність на здійснення технологічного процесу приготування і роздавання кормосуміші з подальшим вибором оптимального енергетичного засобу для агрегування змішувача-кормороздавача з вертикальним шнеком.

*Основна частина.* Технологічний процес роботи мобільного змішувача - кормороздавача (міксер) полягає в завантаженні бункера компонентами кормосуміші, транспортуванні міксеру із одночасним змішуванням компонентів до місця роздавання і, власне, нормованої видачі готової кормосуміші худобі [24]. На відповідні технологічні операції буде витрачатись певна кількість потужності транспортного засобу. Тобто, при умові, що завантаження бункера буде здійснюватись іншими технічними засобами, загальна необхідна потужність складе:

$$N_{заг} = N_{тр} + N_{приг} + N_{вив}, \quad (1)$$

де  $N_{тр}$  – потужність енергетичного засобу, яка витрачається на транспортування міксеру від місця завантаження до місця роздавання кормосуміші худобі, Вт;

$N_{приг}$  – потужність енергетичного засобу, яка витрачається на приготування порції кормосуміші в бункері міксеру, Вт;

$N_{вив}$  – потужність енергетичного засобу, яка витрачається на вивантаження кормосуміші на кормовий стіл в тваринницькому приміщенні, Вт.

Потужність енергетичного засобу, яка витрачається на транспортування міксеру [17]:

$$N_{тр} = \frac{(m_m + m_k) \cdot g \cdot f \cdot V_{agr}}{\eta_{тр}}, \quad (2)$$

де  $m_m$  і  $m_k$  – відповідно конструктивна маса міксеру і максимальна маса кормосуміші в бункері, кг;

$g$  – прискорення вільного падіння, м/с<sup>2</sup>;

$f$  – приведений коефіцієнт тертя;

$V_{agr}$  – середня швидкість агрегування міксеру, м/с;

$\eta_{тр}$  – коефіцієнт корисної дії трансмісії.

Потужність, яка витрачається на приготування порції кормосуміші в бункері:

$$N_{приг} = N_{подр} + N_{зм}, \quad (3)$$

де  $N_{подр}$  – потужність енергетичного засобу, яка витрачається на подрібнення кормів в бункері міксеру ножами вертикального шнеку, кВт;

$N_{зм}$  – потужність енергетичного засобу, яка витрачається на змішування компонентів кормосуміші в бункері міксеру, кВт.



Потужність, що споживається на різання і доподрібнення компонентів кормо суміші в бункері, становитиме

$$N_{\text{нодр}} = P_{\text{нодр}} \cdot V_{\text{ш}}, \quad (4)$$

де  $P_{\text{нодр}}$  – загальне зусилля різання, Н;

$V_{\text{ш}}$  – швидкість леза шнека, м/с.

Оскільки основну масу однієї разової видачі добового раціону складають стеблові корма, то загальне зусилля різання [18]:

$$P_{\text{нодр}} = P_{\text{нит}} \cdot L_p, \quad (5)$$

де  $P_{\text{нит}}$  – питома зусилля різанню, Н/м. Для грубих кормів  $P_{\text{нит.гр}} = 14 \dots 20$  кН/м;

$L_p$  – довжина леза ножа, розміщеного на шнеку, яка приймає участь в різанні компонентів кормо суміші, м.

Швидкість леза шнека в бункері:

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ш}} \cdot R_{\text{сер}}}{30}, \quad (6)$$

де  $n_{\text{ш}}$  – частота обертання шнека, хв.<sup>-1</sup>;

$R_{\text{сер}}$  – середній радіус шнека, м.

Потужність, яка витрачається на змішування компонентів кормосуміші в бункері міксера [18]:

$$N_{\text{зм}} = Q \cdot q_e, \quad (7)$$

де  $Q$  – продуктивність змішувача, кг/год.;

$q_e$  – питома енергомісткість процесу змішування, кВт·год/т. Для змішувачів порційної дії  $q_e = 1,0 \dots 1,2$  кВт·год/т. [18]

Продуктивність змішувача:

$$Q = V_{\text{б}} \cdot \beta \cdot \gamma_{\text{сум}} \cdot \frac{1}{T_{\text{ц}}}, \quad (8)$$

де  $V_{\text{б}}$  – об'єм камери змішування (бункера) міксера, м<sup>3</sup>;

$\beta$  – коефіцієнт заповнення бункера,  $\beta \leq 0,75$  [18];

$\gamma_{\text{сум}}$  – насипна маса кормосуміші, що готується, кг/м<sup>3</sup>.

$$\gamma_{\text{сум}} = \frac{m_1 \cdot \gamma_1 + m_2 \cdot \gamma_2 + \dots + m_n \cdot \gamma_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n}, \quad (9)$$

де  $m_1, m_2, \dots, m_n$  – маси складових компонентів кормосуміші, кг;

$\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$  – насипні маси відповідних компонентів кормосуміші, кг/м<sup>3</sup>;

$T_{\text{ц}}$  – тривалість одного циклу змішування, с.

$$T_{\text{ц}} = t_{\text{зав}} + t_{\text{зм}}, \quad (10)$$

де  $t_{\text{зав}}$  – тривалість завантаження компонентів кормо суміші в бункер міксера;

$t_{\text{зм}}$  – тривалість змішування компонентів.

Тривалість завантаження компонентів кормо суміші залежить від продуктивності завантажувача, фізико-механічних властивостей компонентів і місткості бункера. Тривалість змішування залежить від виду кормо суміші, що готується. Як правило, для сумішок до складу яких входять липкі та стеблові компоненти він становить 8...12 хв. [18].

Бункер міксера складається із двох основ нижньої та верхньої. Нижня основа бункера має форму кола радіусом  $R$ , а верхня складається із двох радіусів  $R$  нижньої основи з центрами віддаленими від осьової нижньої основи на величину  $L/2$ . (рис. 1).

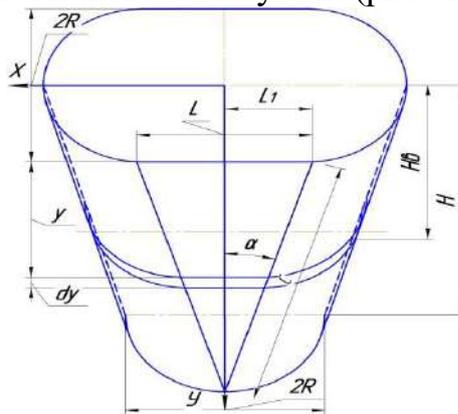


Рис.1. До визначення об'єму бункера міксера

Об'єм камери змішування (бункера) міксера буде залежати від висоти  $H$ , між нижньою та верхньою основами. Як видно з рис.1 об'єм бункера складається з суми об'ємів циліндра і призми [4,5]. Тобто,

$$V_0 = (\pi R^2 \cdot H + 2L \cdot H \cdot R) \cdot K_3, \quad (11)$$

де  $R$  – радіус нижньої основи бункера, м;

$L$  – довжина прямолінійної частини верхньої основи бункера;

$H$  – висота між верхньою та нижньою основами бункера, м;

$K_3 = 1,05 \dots 1,1$  – коефіцієнт запасу кормосуміші в бункері.

Отже витрати потужності на приготування однієї порції кормосуміші в бункері:

$$N_{\text{приг}} = P_{\text{пит}} L_p \frac{\pi n_{\text{ит}} R_{\text{сер}}}{30} + (\pi R^2 H + 2LHR) k_3 \beta \gamma_{\text{сум}} q_e \frac{1}{t_{\text{зав}} + t_{\text{зм}}}. \quad (12)$$

Технологічна операція вивантаження готової кормосуміші буде здійснюватись через відкрите за допомогою гідроциліндра вивантажувальне вікно. Потужність, яка буде затрачена на вивантаження кормо суміші з бункера міксера на кормовий стіл в тваринницькому приміщенні:

$$N_{\text{вив}} = N_n + N_m, \quad (13)$$

де  $N_n$  – потужність, яка буде витрачатись на переміщення кормосуміші від шнека до вивантажувального вікна, Вт;

$N_m$  – потужність, яка буде витрачатись на подолання опору тертя кормосуміші по поверхні шнека і бортам бункера, Вт.



Потужність  $N_n$  становить [10]:

$$N_n = V \cdot g \cdot L \cdot h_c \cdot b_c \cdot \gamma_{\text{сум}} \cdot f_{\text{сум}}, \quad (14)$$

де  $V$  – швидкість переміщення кормосуміші в бункері, м/с;

$g$  – прискорення сили тяжіння м/с<sup>2</sup>;

$L$  – відстань від осі обертання шнека до вивантажувального вікна, м;

$H_c$  – середня висота кормосуміші в бункері, м;

$b_c$  – середня ширина бункера, м;

$f_{\text{сум}}$  – коефіцієнт тертя кормосуміші по дну і стінкам бункера.

При вивантаженні кормосуміші частина потужності буде витрачатись на подолання опору тертя кормосуміші по поверхні шнека і бортам бункера. Тобто,

$$N_m = N_{\text{ш}} + N_{\text{б}}, \quad (15)$$

де  $N_{\text{ш}}$  – потужність на подолання опору тертя кормосуміші по поверхні шнека, Вт;

$N_{\text{б}}$  – потужність на подолання опору тертя кормосуміші по поверхні бункера, Вт.

Потужність  $N_{\text{ш}}$  буде становити:

$$N_{\text{ш}} = F_o \cdot V_o, \quad (16)$$

де  $F_o$  – окружна сила, яка діє на кормосуміш зі сторони гвинтової поверхні шнека, Н;

$V_o$  – середня окружна швидкість гвинтової поверхні шнека, м/с.

Окружна сила  $P_o$  буде становити:

$$F_o = m_{\text{ш}} \cdot g \cdot \text{tg}(\alpha_{\text{ш}} + \varphi_o), \quad (17)$$

де  $m_{\text{ш}}$  – маса кормосуміші, що знаходиться на витках шнека, кг;

$\alpha_{\text{ш}}$  – кут підйому гвинтової лінії шнека, град.;

$\varphi_o$  – кут тертя кормосуміші по виткам шнека, град.

Середня окружна швидкість  $V_o$ :

$$V_o = \frac{\pi \cdot n_{\text{min}}}{40} \cdot R_{\text{сер}}, \quad (18)$$

де  $n_{\text{min}}$  – мінімальна частота обертання шнека, с<sup>-1</sup>.

Таким чином

$$N_{\text{ш}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{min}}}{40} \cdot m_{\text{ш}} \cdot g \cdot \text{tg}(\alpha_{\text{ш}} + \varphi_o) \cdot R_{\text{сер}}, \quad (19)$$

Мінімальна частота обертання шнека визначається з умови забезпечення переміщення кормосуміші від шнека до стінок бункера [17]. Тобто:

$$F_{\text{с}} \succ F_m, \quad (20)$$

де  $F_{\text{с}}$  – відцентрова сила, Н.

$$m_{\text{к}} \cdot \omega^2 \cdot r \succ m_{\text{к}} \cdot g \cdot f_{\text{сум}}, \quad (21)$$



де  $r$  – мінімальна відстань від осі обертання шнека, з якої починається стабільне переміщення кормосуміші під дією відцентрової сили, м.

Звідси

$$\omega > \sqrt{\frac{f_{\text{сум}} \cdot g}{r}}. \quad (22)$$

Або

$$n_{\text{min}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{f_{\text{сум}} \cdot g}{r}}. \quad (23)$$

Підставивши (23) в (19) отримуємо:

$$N_{\text{ш}} = \frac{\sqrt{f \cdot g}}{80} \cdot m_{\text{ш}} \cdot g \cdot \text{tg}(\alpha_{\text{ш}} + \varphi_o) \cdot R_{\text{сер}}, \quad (24)$$

Потужність  $N_{\sigma}$  буде становити:

$$N_{\sigma} = F_m \cdot V, \quad (25)$$

де  $F_m$  – сила тертя кормосуміші по стінкам бункера, Н;

$V$  – швидкість переміщення кормосуміші в бункері, м/с.

Оскільки кормосуміш притискається до стінок бункера в результаті дії відцентрової сили, то сила тертя  $F_T$  буде становити:

$$F_m = m_k \cdot \omega^2 \cdot R \cdot f_{\text{сум}}, \quad (26)$$

де  $\omega$  – кутова швидкість обертання шнека, рад/с;

$R$  – радіус нижньої основи бункера, м.

Отже

$$N_{\sigma} = V \cdot m_k \cdot \omega^2 \cdot R \cdot f_{\text{сум}}. \quad (27)$$

В цілому потужність, яка буде витрачатись на подолання опору тертя кормосуміші по поверхні шнека і бортам бункера:

$$N_m = \frac{\sqrt{f \cdot g}}{80} \cdot m_{\text{ш}} \cdot g \cdot \text{tg}(\alpha_{\text{ш}} + \varphi_o) \cdot R_{\text{с.ш}} + V \cdot m_k \cdot \frac{f \cdot g}{r} \cdot R \cdot f_{\text{сум}}. \quad (28)$$

Підставивши (14) і (28) в (13) отримаємо витрати потужності на вивантаження кормосуміші з бункера міксера на кормовий стіл в тваринницькому приміщенні:

$$N_{\text{вив}} = Vg L h_c b_c \gamma_{\text{сум}} f_{\text{сум}} + \frac{\sqrt{fg}}{80} m_{\text{ш}} g \text{tg}(\alpha_{\text{ш}} + \varphi_o) R_{\text{сер}} + V m_k \frac{fg}{r} R f_{\text{сум}}. \quad (29)$$

Загальна необхідна потужність енергетичного засобу на технологічний процес роботи мобільного змішувача - кормороздавача складе:





$$\begin{aligned}
N_{заз} = & \frac{(m_m + m_k) \cdot g \cdot f \cdot V_{азр}}{\eta_{тр}} + P_{num} L_p \cdot \frac{\pi m_u \cdot R_{сер}}{30} + \\
& + (\pi R^2 H + 2LHR) \cdot \kappa_z \beta \gamma_{сум} q_e \cdot \frac{I}{t_{заб} + t_{зм}} + Vg L h_c b_c \gamma_{сум} f_{суу} + \\
& + \sqrt{\frac{f \cdot g}{r}} m_u g \cdot tg(\alpha_u + \varphi_o) \cdot R_{сер} + V m_k \cdot \frac{f \cdot g}{r} \cdot R \cdot f_{сум}
\end{aligned} \quad (30)$$

**Висновки.** Аналіз отриманої формули показує, що для визначення необхідної потужності на привод змішувача-кормороздавача необхідно мати наступні вихідні дані: склад раціону годування худоби, фізико – механічні властивості компонентів кормосуміші (насипна маса, зовнішній кут тертя) та технічні характеристики кормороздавача (розміри бункера, радіус і частоту обертання шнека). Зважаючи на можливі перевантаження в процесі роботи (особливо на першому (конвективному) етапі змішування компонентів кормосуміші, необхідно знайдену аналітичним шляхом потужність збільшити на 10–15%. Викладені матеріали дозволять раціонально підходити до вибору енергетичного засобу для агрегування мобільного змішувача-кормороздавача з вертикальним шнеком.

Список використаних джерел.

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

2. Boltianska N. Justification of choice of heating system for pigsty. *ТЕКА. An International Quarterly Journal on Motorization, Vehicle Operation, Energy Efficiency and Mechanical Engineering.* 2018. Vol. 18, No 1. P. 57–62.

3. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings».* 2017. Pp. 155–158.

4. Болтянський Б.В., Дереза С.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

5. Serebryakova N., Podashevskaya H. Use of three-dimensional computer visualization in the study of nanostructures. Минск: БГАТУ, 2020. С. 517-519.

6. Дереза О. О., Болтянський Б.В. Аналіз доцільності використання позиційних вивантажувачів консервованих кормів з траншейних сховищ. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету.* Вип. 19, т. 4. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. С. 233-244.



7. 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. Pp. 249-258.

8. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production*. Uman, 2019. Pp. 18-20.

9. Дереза О. О. Обґрунтування параметрів міксер-роздавача кормів. *Мат. VII наук.-техн. конф. «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»*. Глеваха, 2019. С. 25-27.

10. Komar A. S. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine*. Nizhin, 2019. P. 84–91.

11. Гвоздєв О. В., Дереза С.В. Обґрунтування конструктивного виконання змішувача компонентів комбикормів на основі побудови його морфологічної моделі. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип.8. Т.2 С. 157-165.

12. Дереза С.В. Обґрунтування експлуатаційно-технологічних параметрів кормороздавачного агрегату. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2016. Вип. 6. т. 3. с. 65-72

13. Болтянський Б.В., Дереза О.О., Мовчан С.І. Патент на корисну модель «Кормороздавач-змішувач». UA 115225 U, 10.04.2017

14. Париев А., Дробышев О. Экспериментальные исследования разбрасывателя подстилки с роторно-пальцевым рабочим органом. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 2016. Vol.18. No. 1. Pp. 37-42.

15. Skliar R. 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.

16. «Енерго- та ресурсозбереження в тваринництві»: підручник / О.Г. Скляр, Р.В. Скляр, Н.І. Болтянська. К.: Видавничий дім «Кондор», 2020. 410 с.

17. Сиротюк В.М. Машины та обладнання для тваринництва: Навчальний посібник. Львів, Магнолія плюс. 2004. 200 с.

18. «Машиновикористання техніки в тваринництві»: навчальний посібник для виконання лабораторних робіт [Н.І. Болтянська, О.Г. Скляр, Р.В. Скляр та ін.]. Мелітополь: ВПЦ «Люкс». 2019. 180 с.

19. Voltyansky V.V. 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. Pp.49–54



20. Хмельовський В. С., Ачкевич О. М. Дослідження процесу приготування високоенергетичної кормової суміші для ВРХ. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2017. Вип. 262. С. 304-314.

21. Skliar A. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Vol. 16, No 2. Pp. 183-188.

22. Komar A. S. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production*. Uman, 2019. Pp. 18-20.

23. Ревенко І. І., Хмельовський В. С. Оцінка якості змішування кормів мобільним комбінованим кормоприготувальним агрегатом. *Науковий вісник НУБіП України. Серія: техніка та енергетика АПК*. Київ. 2016. Вип. 251. С. 91-100.

24. Ревенко І. І., Белік Д. Ю. Шляхи удосконалення агрегатів для приготування і роздавання кормів рогатій худобі. *Вісник ХНТУСГ ім. Петра Василенка*. Харків, 2010. Вип. 95. С. 250–258.

**ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО ЗАСОБУ ДЛЯ  
АГРЕГАТУВАННЯ МОБІЛЬНОГО ЗМІШУВАЧА-КОРМОРОЗДАВАЧА  
Болтянський Б.В., Парієв А.О., Дереза О.О., Дереза С.В., Дробишев О.О.,  
Коротченко Т.М.**

*Анотація*

В статті проводиться аналіз технологічного процесу підготовки компонентів з раціону годування великої рогатої худоби і їх видачі у вигляді кормосуміші. Найбільш ефективно цей процес проводити за допомогою змішувачів-кормороздавачів з вертикальними робочими органами – шнеками. Загальна необхідна потужність на функціонування такого кормороздавача-мікзера буде складатись із суми потужностей на його транспортування, приготування кормосуміші і вивантаження готової кормосуміші на кормовий стіл у тваринницькому приміщенні. Виведена аналітичним шляхом формула знаходження загальної потужності дозволить раціонально підходити до вибору енергетичного засобу для агрегування мобільного змішувача-роздавача з вертикальним шнеком.

**Ключові слова:** скотарство, кормосуміш, кормороздавач, змішувач, міксер, бункер, потужність, енергетичний засіб, шнек.

**ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СРЕДСТВА ДЛЯ  
АГРЕГАТИРОВАНИЯ МОБИЛЬНОГО СМЕСИТЕЛЯ-  
КОРМОРАЗДАТЧИКА  
Болтянский Б.В., Париев А.А., Дереза Е.А., Дереза С.В., Дробышев О.О.,  
Коротченко Т.М.**

*Аннотация*

В статье проводится анализ технологического процесса подготовки компонентов из рациона кормления крупного рогатого скота и их выдачи в виде



кормосмеси. Наиболее эффективно этот процесс проводить с помощью смесителей-кормораздатчиков с вертикальными рабочими органами - шнеками. Общая требуемая мощность на функционирование такого кормораздатчика-миксера будет состоять из суммы мощностей на его транспортировку, приготовление кормосмеси и выгрузку готовой кормосмеси на кормовой стол в животноводческом помещении. Выведенная аналитическим путем формула нахождения общей мощности позволит рационально подходить к выбору энергетического средства для агрегатирования мобильного смесителя-раздатчика с вертикальным шнеком.

**Ключевые слова:** скотоводство, кормосмесь, кормораздатчик, смеситель, миксер, бункер, мощность, энергетическое средство, шнек.

## CHOICE OF RATIONAL ENERGY MEANS FOR AGGREGATION OF MOBILE MIXER-FEEDER

**B. Boltianskyi, A. Pariev, O. Dereza, S. Dereza, O. Drobyshev, T. Korotchenko**

### Summary

At present, farms are switching to modern resource-saving technologies for milk and meat production through the use of new technological solutions for keeping, feeding, watering, caring for and exploiting livestock. The issues of energy saving and energy efficiency are becoming more and more relevant every year.

The organization of the process of preparation for feeding and distribution of feed is one of the sources of reducing the cost of livestock products, and therefore is a way to save energy. This process consumes 2.5 – 2.8 GJ of fuel and lubricants per capita during the year. The search for ways to reduce the energy intensity of this process is continuously associated not only with the technology of preparation of feed for feeding, the choice of technological means for the distribution of feed, but also with the choice of energy for aggregation of these means.

The article analyzes the technological process of preparation of components from the diet of cattle and their issuance in the form of feed. It is most effective to carry out this process by means of mixers-feeders with vertical working bodies - screws.

The total required capacity for the operation of such a feed mixer will consist of the sum of the capacities for its transportation, preparation of the feed mixture and unloading of the finished feed mixture on the feed table in the livestock room.

Analysis of the obtained formula shows that to determine the required power to drive the mixer-feeder it is necessary to know the following initial data: the composition of the feeding ration, physical and mechanical properties of feed components (bulk, external friction angle) and technical characteristics of the feeder (hopper size, radius and auger speed).

The formula of finding the total capacity derived by analysis will allow to rationally approach the choice of energy means for aggregation of the mobile mixer-distributor with a vertical auger.

**Key words:** livestock, feed mixture, feed dispenser, mixer, mixer, bunker, power, energy, auger.



УДК 620.953

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-19

## МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕЛЕТ З ПЕРЕПЕЛИНОГО ПОСЛІДУ

Комар А.С., інж.

ORCID: 0000-0001-7037-8402

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: artem.komar@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* В агропромисловому комплексі сьогодні активно розробляються нові промислові напрямки, де застосовуються технології брикетування та гранулювання здрібнених матеріалів [1, 2]. Фахівцями обґрунтована можливість стиснення більше 5000 різних видів сировини. Впровадження технологій безвідходного виробництва є нагальною потребою для тих підприємств сільського господарства, які в процесі виробництва продукції утворюють велику кількість відходів [3]. Одними з найбільших виробників відходів в сільському господарстві України є птахофабрики. За оцінками фахівців, вихід посліду природної вологості на птахофабриках України складає близько 5,2 млн. т.

Відходи у вигляді пташиного посліду використовується нераціонально і неекологічно при: компостуванні в бурти, зберіганні в спеціальних гноєсховищах, спалюванні посліду для отримання теплової та електричної енергії, анаеробному процесі розкладання компонентів компосту для отримання біогазу, сушінні посліду різної вологості, термічної сушки для отримання сухого пташиного посліду, використуваного як органічне добриво, спалюванні посліду, переробці посліду методом біоферментації в спеціальних установках, проведенні піролізу. Одним з сучасних підходів до технологій утилізації пташиного посліду є виготовлення пелет [4], які в холодний період року використовуються для обігріву самих пташиних ферм, для використання у власних твердопаливних котельнях. Таким чином птахофабрики зможуть поліпшити складну екологічну ситуацію, пов'язану з накопиченням посліду, що став серйозним джерелом забруднення навколишнього природного середовища. В сучасному світі з кожним днем розробляється і впроваджується велика кількість технологій, що сприяють зменшенню шкідливих викидів відходів у навколишнє середовище. В Україні такі технології також представлені, хоча й в недостатній мірі.



*Аналіз останніх досліджень.* Вивченням та дослідженням процесів виготовлення біопалива з сільськогосподарської сировини присвячені наукові доробки таких вітчизняних вчених: Гелетуха Г. Г., Зіновчук Н. В., Сухін Є. І., Кириленко І. Г. та ін. [5]. Відкриттям нових горизонтів в питаннях ущільнення органічних відходів рослинного походження зробили вітчизняні та зарубіжні вчені, серед яких Горячкін В. П., Пустигін М. О., Гутьяр Є. М., Долгов І. О., Особов В. І., Некрашевич В. Ф., Храпач Є. І., Колотєв О. О., Шульга Г. Н., Канафойський Ч., Скальвейт Х., Мак-Коллі Х.Ф., Дж.-Л.Батлер, та інш. [6, 7]. Основну увагу науковці зосередили в пошуку найефективнішого способу використання біомаси, ущільненню органічних відходів та створенню транспортувального обладнання для вихідної сировини та ущільненого матеріалу.

Розвитком біогазових технологій з відходів рослинного та тваринного походження та дослідженням бродіння присвячені роботи Омелянського В. Л., Желих В. М., Фурдаса Ю. В., Скляр О.Г., Скляр Р.В. [8, 9]. Науковці також повсякчас намагаються питання ресурсозбереження [10, 11]. Дослідженням переробки відходів птахівництва присвячені праці Смирнова О. П., Димиденка В. М., Ярошенка Ф. О., Борщевського П., Сахацької Т., Вальдмана А., Сахацького М. та інших [12]. Науковцями було висунуто цілий ряд ідей щодо утилізації відходів птахівництва.

Проте проблема утилізації відходів тваринного походження, а саме пташиного посліду і виготовлення з нього органічних добрив, або ж приготування пелет при сучасних тенденціях до переходу на відновлювальні джерела енергії в сучасній Україні є актуальним [13]. Сьогодні в Україні розведення перепелів стало досить поширеним видом птахівництва і вигідним середнім та малим бізнесом [14]. Виготовлення пелет з посліду цих птахів, що за своїми енергетичними властивостями не поступається деревному, та послідує їх використання для опалення невеликої перепелиної ферми взимку є вигідною справою.

*Формулювання цілей статті.* Розробити методику експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з перепелиного посліду.

*Основна частина.* Щоб дослідити технологічний процес виготовлення пелет з перепелиного посліду розроблено конструктивно-технологічну схему (рис. 1) та створено експериментальну установку (рис. 2) [15, 16] для його реалізації.

Установка (рис. 1) для виготовлення пелет складається з рами 1, електродвигуна 2, горизонтально розташованих привідних валів (не вказано), муфти 3, редуктора 4, вертикального привідного валу (не вказано), корпусу 5, завантажувальної горловини 6, вивантажувального

патрубка 7, прикочувальних роликів 8, матриці 9. Установка працює наступним чином. Вмикається встановлений на рамі 1 електродвигун

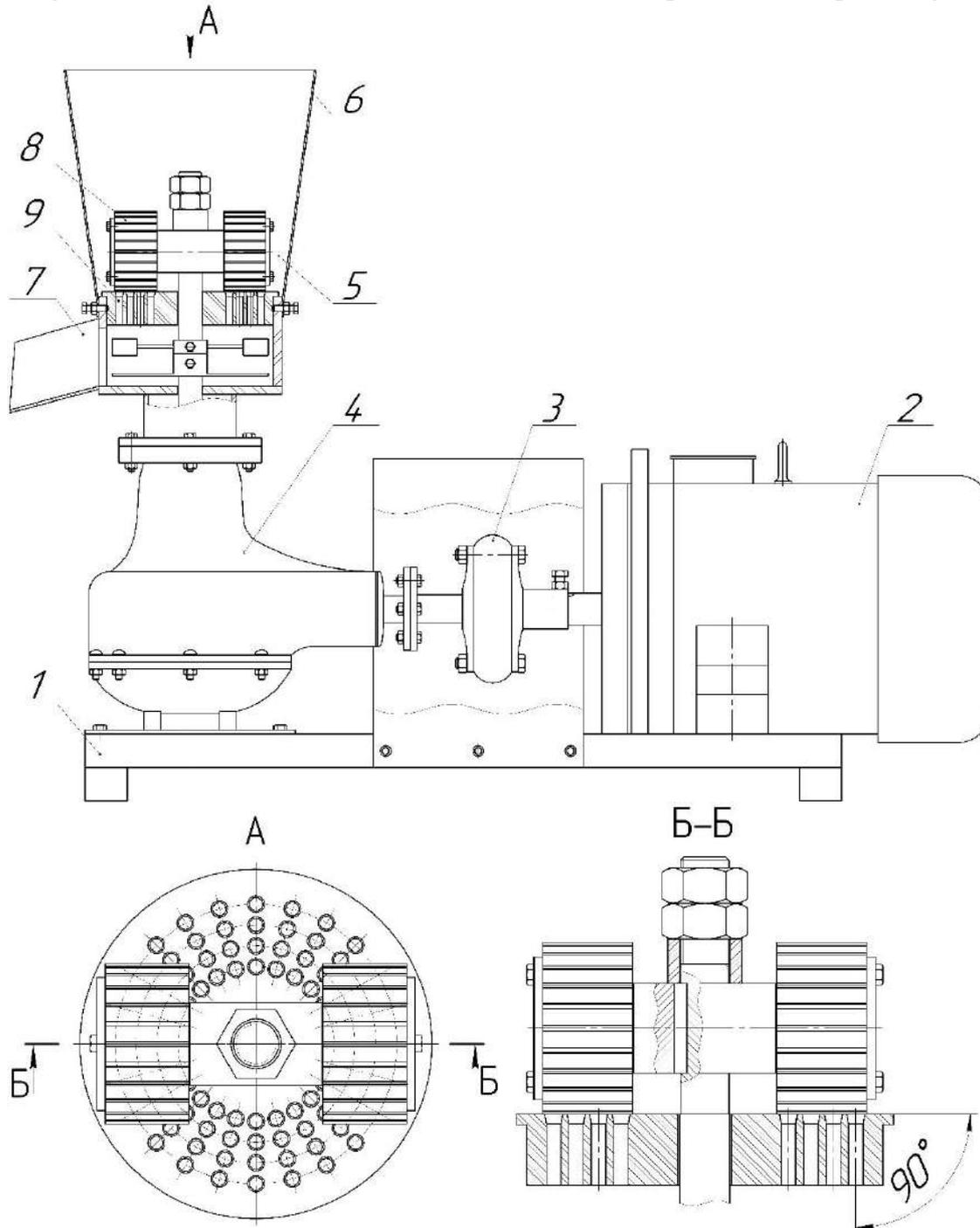


Рис. 1. Конструктивно-технологічна схема установки для виготовлення пелет.

2, який через редуктор 4 приводить в дію прикочувальні ролики 8. Перепелиний послід рівномірно подається до завантажувальної горловини 6 де потрапляє в корпус 5 робочої камери, яка складається з прикочувальних роликів 8 та нерухомо закріпленої матриці 9.



а



б



в



г

Рис. 2. Експериментальний зразок установки для виготовлення пелет: а – загальний вигляд; б – вузол пресування; в – прикочувальний ролик; г – плоска матриця.

Прикочувальні ролики 8, закріплені на вертикальному приводному валу за допомогою втулки з пружним елементом, поступово протискають послід відповідної вологості крізь канали





матриці, які мають циліндричну форму і направлені під кутом  $90^\circ$  до робочої поверхні матриці (рис. 1). Сформовані пелети циліндричної форми за допомогою жорстко закріплених на вертикальному приводному валу вивантажувальних лопатей з прикочувальними роликками 8, відокремлюються та потрапляють до приймального резервуару, через вивантажувальний патрубок 7 [17]

В установці для виготовлення пелет є можливість регулювання зазору між прикочувальними роликками 8 та матрицею 9. Плоска матриця 9, що входить до складу установки має отвори діаметрами 7,5 мм.

Подача посліду до завантажувальної горловини 6 здійснюється оператором, який впливає на швидкість подачі сировини та може змінювати в діапазоні 10-200 кг/год. Визначаємо умови проведення досліджень перед початком експериментальних досліджень та підготуємо перепелиний послід масою 5 кг для кожного досліду.

Для кожної порції посліду визначаємо вологість за допомогою вологоміру зерна і сипучих речовин «Condevo MD7822» згідно ДСТУ 4922:2008 «Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості» [18] та хімічний склад посліду за ДСТУ 7527:2014 «Послід птиці. Технології біологічного перероблення. Загальні вимоги» [19]

Маса кожної порції визначається шляхом статичного зважування на механічних поштових вагах РН-50Ш13П-1. Перед кожним дослідом на установку для виготовлення пелет встановлюється відповідна конфігурація розташування прикочувальних роликів.

Пташиний послід масою 5 кг поступово засипається до завантажувальної горловини, оператор регулює і встановлює задану швидкість подачі матеріалу в установку для виготовлення пелет.

Значення потужності, що витрачається електродвигуном в процесі дослідження фіксується на портативному вимірювальному комплекті К505 разом з часом проходження 5 кг матеріалу крізь плоску матрицю установки для виготовлення пелет.

Початком виробничого циклу вважався процес завантаження вихідного матеріалу, а тривалість виробничого циклу замірялась секундоміром. Закінчення виробничого циклу – завершення процесу накопичення пелет.

По закінченні кожного досліду установка вимикається і готується до наступного. Отримані пелети підлягають визначенню маси, геометричних розмірів, а також насипної об'ємної маси.

Дослідження проводились для двох варіантів конфігурації розташування прикочувальних роликів (рис. 3). Варіант 1 – два прикочувальні ролики розміщені вздовж однієї осі. Варіант 2 – три прикочувальні ролики розташовані послідовно через кут зміщення  $120^\circ$ .



Факторами досліджень є відстань між матрицею та прикочувальними роликками установки для пресування, швидкість подачі сировини та її вологість. Рівні та інтервали варіювання факторів у проведених лабораторних і експериментальних дослідженнях наведені в таблиці 1.

Продуктивність виробничого процесу створення пелет  $Q$ , потужність електродвигуна  $P$  і об'ємна маса пелет  $\rho$  обрані за критерії досліджень.

Таблиця 1

Інтервали і рівні варіювання факторів при експериментальних дослідженнях установки

Фактори та їх позначення		Найменування факторів та одиниця вимірювання	Рівні варіювання			Інтервал варіювання
Кодове	Натуральне		-1	0	1	
$X_1$	h	Відстань між матрицею та роликками, мм	0	2	4	2
$X_2$	q	Швидкість подачі сировини, кг/год	30	60	90	30
$X_3$	W	Вологість перепелиного посліду, %	10	15	20	5

Для трифакторного експерименту використана трирівнева матриця ( $B_3$ ) оптимального плану Бокса (табл. 2), а досліди проводяться у дворазовій повторюваності [20-22]

Таблиця 2

Трирівнева матриця оптимального плану Бокса другого порядку для трьох факторів

№ досліду	Фактор			№ досліду	Фактор		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		$X_1$	$X_2$	$X_3$
1	-1	-1	-1	8	-1	0	0
2	1	-1	-1	9	1	0	0
3	-1	1	-1	10	0	-1	0
4	1	1	-1	11	0	1	0
5	-1	-1	1	12	0	0	-1
6	1	-1	1	13	0	0	1
7	1	1	1	14	0	0	0

Продуктивність виробничого процесу визначаємо шляхом розрахунку за формулою:

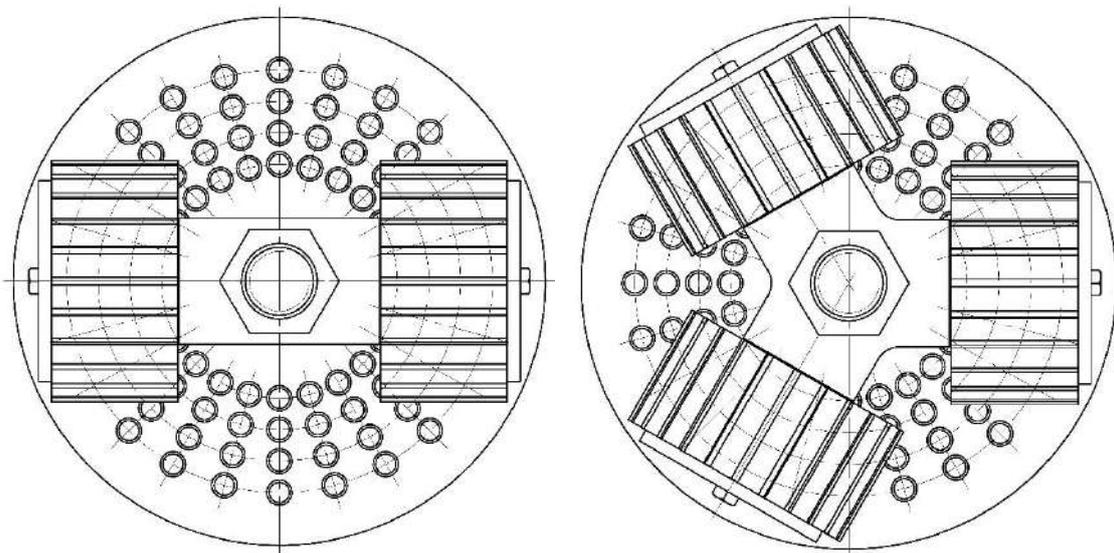
$$Q = \frac{m}{t} \quad (1)$$

де:  $m$  – маса перепелиного посліду, приймаємо  $m = 5$  кг;

$t$  – тривалість виробничого циклу, год.

Критерієм оптимізації факторів досліджень обираємо питомі енерговитрати, які визначаємо за формулою:

$$E = \frac{P}{Q} \quad (2)$$



Варіант 1

Варіант 2

Рис. 3. Варіанти конфігурації розташування прикочувальних роликів установки для виготовлення пелет.

*Висновок.* Таким чином, розроблена методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з перепелиного посліду дозволяє з мінімальними витратами створити модель процесу. Представлено необхідне обладнання та методика обробки отриманих експериментальних даних. Наведено математичний метод планування, визначено рівні та інтервали варіювання діючих факторів. За результатами проведених досліджень в подальшому побудуємо математичну модель залежності потужності необхідної для виготовлення пелет, продуктивності виробничого процесу та об'ємної маси виготовлених пелет від швидкості подачі матеріалу, його вологості і відстані між плоскою матрицею та прикочувальними роликами для двох варіантів конфігурації розташування прикочувальних роликів.



## Список використаних джерел

1. Мілько Д. О., Рогач Ю. П. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гранулятора з нерухомою матрицею. *Вісник ХНУТУСГ: Проблеми надійності машин*. Харків: ХНТУСГ. 2018. Вип. 192. С. 202–209.
2. Boltianska N. Processing of poultry manure for fertilization by granulation. *Innovative Technologies for Growing, Storage and Processing of Horticulture and Crop Production*. Uman, 2019. Pp. 18–20.
3. Комар А. С., Мілько Д. О. Доцільність використання паливних брикетів з відходів сільськогосподарського виробництва. *Мат. VIII Всеукр. наук.- техн. конф. «Технічний прогрес у тваринництві та кормовиробництві»* ННЦ «ІМЕСГ». 2020. С. 68–71.
4. Boltianska N. Analysis of the design of presses for the preparation of feed pellets and fuel briquettes. 2018. Issue 8. Vol. 2. Pp. 44–56.
5. Комплексний аналіз українського ринку пелет з біомаси: посібник. / Гелетуґа Г. Г. та ін. Київ, 2016. 336 с.
6. Quaak P., Knoef H., Stassen H. Energy from Biomass : A Review of Combustion and Gasification Technologies. *World Bank Technical Paper № 422. Energy Series*. Washington: The World Bank. 2009. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/936651468740985551/Energy-from-biomass-a-review-of-combustion-and-gasification-technologies> (date of application: 15.10.2020)
7. Болтянська Н.І. Гранулювання органічних відходів рослинного походження на прикладі очерету. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2020. Вип. 10, том 1. URL: <http://elar.tsatu.edu.ua/handle/123456789/10726> (дата звернення: 05.11.2020)
8. Skliar A., Skliar R. Justification of conditions for research on a laboratory biogas plant. *Motrol: Motoryzacja I Energetyka Rolnictwa*. Vol. 16, No 2. Pp. 183–188.
9. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: a textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
10. Boltianska N. I. Analysis of the main areas of resource conservation in animal husbandry. *Motrol: Motoryzacja i Energetyka Rolnictwa*. 2016. Vol. 18, No 13. Pp. 49–54.
11. Skliar R. 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.
12. Вяткін П.С. Визначення загального ефекту формування безвідходного виробництва на переробних підприємствах АПК. *Економіка розвитку*. 2010. №1(53). С. 65–69.



13. Болтянська Н.І., Комар А.С. Переробка пташиного посліду на добриво шляхом його гранулювання. *Інноваційні технології вирощування, зберігання і переробки продукції садівництва та рослинництва*: мат. V Міжн. наук.-практ. конф. Умань, 2019. С. 18–20.
14. Болтянський Б.В., Болтянська Л.О. Розведення перепелів – родинний бізнес. *Тваринництво сьогодні*. Київ, 2018. №5. С. 37–43.
15. Гранулятор: пат. 129109 Україна: МПК В 01 J 2/20. №u201803046; заявл. 26.03.2018; опубл. 25.10.2018, Бюл. № 20. 4 с.
16. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings» 2017*. P. 155–158.
17. Комар А.С., Болтянська Н.І. Обґрунтування основних параметрів, що впливають на продуктивність гранулятора. *Праці ТДАТУ*. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. Вип. 19, т. 4. С. 118–129.
18. ДСТУ 4922:2008 Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості. [Дата введення 2009-07-01]. Київ, 2014. 11 с.
19. ДСТУ 7527:2014 Послід птиці. Технології біологічного перероблення. Загальні вимоги. [Дата введення 2015-02-01]. Київ, 2017. 22 с.
20. Мельников С.В., Алешкин В.Р., Роцин П.М. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов. 2-е изд., перераб. и доп. Л.: Колос, 1980. 168 с.
21. Boltianska N. Development of the design of a press-granulator for the processing of bird manure. *Topical issues of development of agrarian science in Ukraine*. Nizhin, 2019. P. 84–91.
22. Основы научных исследований: в 4-х кн. / Кононюк А.Е. Киев: КНТ, 2011. К.2: Общая теория эксперимента. 452 с.

## МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПЕЛЕТ З ПЕРЕПЕЛИНОГО ПОСЛІДУ

Комар А. С

### Анотація

В статті розроблена методика експериментальних досліджень установки для виготовлення пелет з перепелиного посліду, що дозволяє з мінімальними витратами створити модель процесу. Представлено необхідне обладнання та методика обробки отриманих експериментальних даних. Наведено математичний метод планування, визначено рівні та інтервали варіювання діючих факторів. За результатами проведених досліджень в подальшому побудуємо математичну модель залежності потужності необхідної для виготовлення пелет, продуктивності виробничого процесу та об'ємної маси виготовлених пелет від швидкості подачі матеріалу, його вологості і відстані між плоскою матрицею та прикочувальними роликками для двох варіантів конфігурації розташування прикочувальних роликів.

**Ключові слова** – дослідження, перепелиний послід, утилізація, пелети, установка, біопаливо.



## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЛЛЕТ ИЗ ПЕРЕПЕЛИНОГО ПОМЕТА

Комар А. С.

### *Аннотация*

В статье разработана методика экспериментальных исследований установки для изготовления пеллет из перепелиного помета, которая позволяет с минимальными затратами создать модель процесса. Представлены необходимое оборудование и методика обработки полученных экспериментальных данных. Приведены математический метод планирования, определены уровни и интервалы варьирования действующих факторов. По результатам проведенных исследований в дальнейшем построим математическую модель зависимости мощности необходимой для изготовления пеллет, производительности производственного процесса и объемной массы изготовленных пеллет от скорости подачи материала, его влажности и расстояния между плоской матрицей и прикатывающими роликами для двух вариантов конфигурации расположения прикатывающих роликов.

**Ключевые слова** – исследования, перепелиный помет, утилизация, пеллеты, установка, биотопливо.

## EXPERIMENTAL RESEARCH METHODS INSTALLATION FOR MANUFACTURING PELLETS FROM QUAIL DROPPINGS

A. Komar

### **Summary**

The introduction of waste-free production technologies is an urgent need for agricultural enterprises, in the production process of which a large amount of waste is generated. Poultry farms are one of the largest producers of agricultural waste in Ukraine. According to experts, the yield of natural moisture droppings in poultry farms in Ukraine is about 5.2 million tons. Waste in the form of poultry manure is used irrationally and not environmentally friendly. One of the modern approaches to technologies for utilizing poultry manure is the manufacture of pellets, which in the cold season are used to heat the poultry farms, for use in their own solid fuel boiler houses. Therefore, the preparation of pellets with modern trends towards the transition to renewable energy sources in modern Ukraine is relevant. Today in Ukraine, quail breeding has become a fairly common type of poultry farming. Therefore, the manufacture of pellets from the droppings of these birds, which are not inferior to wood pellets in their energy properties, and their subsequent use for heating a quail farm in winter is advantageous.

Methodology for experimental research of the installation for the manufacture of pellets from quail droppings, which allows you to create a model of the process with minimal costs is developed in article. The necessary equipment and methods for processing the obtained experimental data are presented. The mathematical method of planning is given, the levels and intervals of variation of the acting factors are determined. Based on the results of the studies carried out, in the future, we will construct a mathematical model of the dependence of the power required for the manufacture of pellets, the productivity of the production process and the volumetric mass of the manufactured pellets on rate the material feed, its moisture content and the distance between the flat die and the press rollers for two configurations of the arrangement of the press rollers.

**Key words** – research, quail droppings, recycling, pellets, installation, biofuel.



УДК 621.7.04

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-20

## ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ

Паніна В. В.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0001-9623-516X

Дашивець Г.І.<sup>1</sup> к.т.н.

ORCID 0000-0003-2612-6077

Новік О.Ю.<sup>1</sup> інж.,

ORCID 0000-0002-8966-967X

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, м. Мелітополь, Україна.

e-mail: [valeriia.panina@tsatu.edu.ua](mailto:valeriia.panina@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* В машинобудуванні найбільш масовими деталями є зубчасті колеса. Тенденція зростання потужності, навантажень і швидкостей в машинобудуванні вимагає розробки зубчастих передач для високошвидкісних машинних агрегатів, що в свою чергу потребує надійності цих передач і вимагає застосування високоміцних зубчастих коліс. Одним з ключових технологічних питань, що підвищують довговічність і технічну готовність мобільних засобів є застосування прогресивних технологічних процесів відновлення деталей, що забезпечують підвищення якості відновлення та ресурсу відремонтованих машин.

*Аналіз останніх досліджень.* У практиці поверхневого зміцнення склалося і діє понад 130 різних технологій. Обробкою зубчастих коліс для збільшення їх міцності займались такі вчені, як Попова В.В., Кашкаров А.А., Мамонтов В.А., Поветкин В. В., Сушкова О. А. та інші. [1-4]. В своїх роботах вони відобразили статичні та ударні методи зміцнення робочих поверхонь зубчастих коліс. Збитки економіці України може завдавати застосування економічно неефективних методів обробки в зв'язку з обмеженістю інформації, а також протиріччя і протилежних тенденцій розвитку окремих технологій.

*Формулювання цілей статті.* Актуальний напрямок в технічному сервісі – це поверхневе зміцнення і нанесення зміцнюючих покриттів на зубчасті колеса. Мета статті проаналізувати напрямки розвитку поверхневого зміцнення зубчастих коліс, порівняння переваг і недоліків окремих технологій, а також оцінити найбільш перспективні рішення.

*Основна частина.* У мобільних засобів найбільш навантаженими деталями є зубчасті колеса, які працюють в умовах ударно-циклічного навантаження з ковзанням. Несуча здатність зубчастої передачі визначається такими характеристиками, як контактна міцність,



згинаюча втомна міцність і зносостійкість. Тому найбільш частими причинами відмови є втрата міцності зуба, стомлююче вищерблення контактної поверхні та знос профілю зуба.

В умовах експлуатації поверхневий шар деталі піддається найбільш сильному фізико-хімічного впливу: механічному, тепловому, магнітоелектричному, світловому, хімічному і ін. В більшості випадків у деталі починають погіршуватися властивості поверхні (знос, ерозія, кавітація, корозія, втомні тріщини) і інші, руйнування розвиваються спочатку на поверхні. Обробка поверхнево-пластичною деформацією (ППД) є одним з найбільш простих і ефективних способів підвищення експлуатаційних показників деталі і її поверхневого шару зокрема [5].

ППД засноване на здатності металевої поверхні сприймати залишкові пластичні деформації без порушення цілісності металу. ППД один з найбільш простих і ефективних технологічних шляхів підвищення працездатності та надійності деталей машин. Внаслідок ППД підвищуються твердість і міцність поверхневого шару, формуються сприятливі залишкові напруги стиску, зменшується параметр шорсткості  $R_a$ , збільшується радіус заокруглення вершин мікроступів, відносна опорна довжина профілю мікронерівностей і т.і. ППД забезпечує підвищення втомної міцності і витривалості деталі в процесі експлуатації в 1,5...2,3 рази [1].

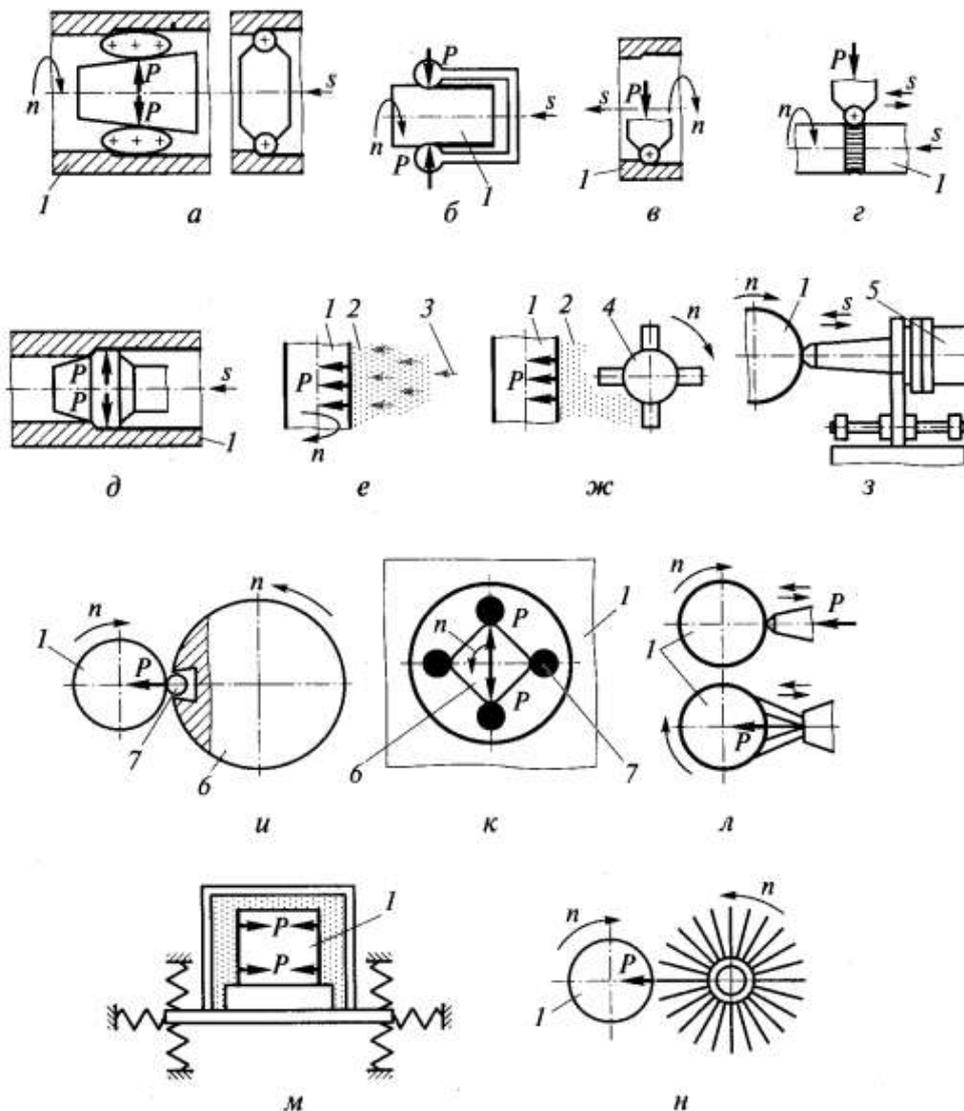
При статичних методах ППД інструмент впливає на оброблювану поверхню з певною постійною силою, відбувається плавне переміщення вогнища впливу, який послідовно проходить всю поверхню, що підлягає обробці. При цьому інерційні сили не роблять істотного впливу на ППД. До таких методів відносять різні вигладжування, обкатування і розкочування [6].

При ударних методах інструмент багаторазово впливає на всю поверхню оброблення або її частину, при цьому сила впливу в кожному циклі змінюється від нуля або від деякого мінімального значення до максимуму, а в разі локального ударного впливу вогнище деформування може послідовно і рівномірно проходити всю поверхню оброблення, як і в статичних методах. При цьому розрізняють: накатування, вигладжування, калібрування, дорнованіє. Зазвичай в якості інструментів при ППД застосовують шарики, ролики, вигладжувальники, дорни, деформуючі протяжки. При цьому, застосування статичних методів ППД дає меншу товщину деформованого шару, шорсткість поверхню. При використанні ударних методів ППД можливо досягти більшої ступені зміцнення, що надає збільшення мікротвердості, товщини зміцнюючого шару.

Основні способи ППД представлені на рис. 1.

Обкатуванням і розкачуванням обробляють і зміцнюють циліндричні, конічні, плоскі, фасонні зовнішні і внутрішні поверхні.





а, б - зміцнюючі розкочування і обкатування; в - вигладжування; г - вібраційний наплив і вигладжування; д - поверхнєве дорнування; е - дробеструйна обробка; ж - дробеметна обробка; з - ультразвукова обробка дробом; и - відцентрова обробка; к - ударне розкочування; л - зміцнююче карбування; м - вібраційна ударна обробка; н - обробка механічною щіткою. 1 - заготовка; 2 - дріб; 3 - струмінь газу і (або) рідини; 4 - дробемет (турбинка); 5 - ультразвуковий генератор; 6 - опора; 7 - ролики;

n - обертання заготовки і (або) інструменту;  
s - переміщення заготовки та (або) інструменту;  
P - зусилля деформування;  
→ - напрямок різного виду рухів

Рис. 1. Основні способи ППД

З аналізу численних видів покриттів і технологій їх нанесення впливають негативні явища, які необхідно враховувати при виборі

альтернативних варіантів поверхневого зміцнення зубчастих коліс [7-11]:

- зниження міцності основного матеріалу;
- деформаційні повідці, викривлення і необхідність фінішних операцій;
- відмінності властивостей покриттів залежно від способу зміцнення.

Характерною особливістю методів поверхневого зміцнення є те, що не вдається отримати одночасного підвищення всіх експлуатаційних властивостей зубчастих коліс для всіх режимів експлуатації. Тому рекомендують диференційований підхід цільового застосування технологій для підвищення окремих службових характеристик - зносостійкості, контактної і згинальної міцності [2].

Комбіновані методи найбільш ефективні для підвищення контактної і згинальної втомної міцності деталей машин. До таких способів відносяться гартування струмами високої частоти, термічна або хіміко-термічна обробка (цементування, ціанування, азотування) з подальшою обробкою ППД. Загальним недоліком кожного з них є утворення на поверхні, внаслідок термічних або інших видів впливу, хаотичних, випадково розташованих мікрорельєфів [12, 13]. Таким чином, актуальним є отримання зміцненого поверхневого шару з великими глибиною і ступенем зміцнення. Такі характеристики поверхні найбільш доцільно отримати при використанні способів ППД на основі вібраційних коливань обробного інструменту. Найбільш поширеним методом нанесення регулярного мікрорельєфу є метод вібраційного накочування. Метою обробки зубчастих коліс за даним методом є утворення на робочих поверхнях зубів системи синусоїдальних канавок, показаних на рис. 2:

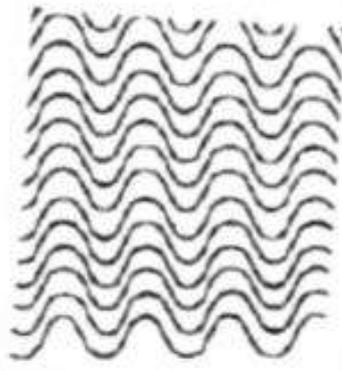


Рис. 2. Система синусоїдальних канавок на робочій поверхні зубів  
Основою вібраційного зміцнення є динамічний характер протікання процесу, що супроводжується безліччю мікроударів робочого інструмента або частинок робочого середовища по поверхні оброблюваних деталей. При цьому забезпечується пластичне деформування поверхневого шару, що призводить до підвищення



мікротвердості, утворення сприятливих стискаючих залишкових напруг і зменшення шорсткості поверхні [14-17].

Також слід зазначити, що обробка ППД з застосуванням вібраційних коливань обробного інструменту забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей оброблюваної поверхні. Це відбувається за рахунок циклічного впливу вібрацій на деталь, що оброблюється через робочий інструмент [18-20].

Спосіб обробки має ряд переваг:

1. Створення регулярного мікрорельєфу, який утворюється як слід руху деформуючого елемента, що контактує з оброблюваною поверхнею.

2. Сприятлива практично для всіх умов експлуатації форма нерівностей регулярних мікрорельєфів.

3. Можливо управляти такими параметрами поверхні як фактична її площа і фактична площа контакту, і створювати високочисті поверхні достатньої маслоємності, виключати явища молекулярного зчеплення, адгезії, фреттінгкорозії.

4. Відсутність перерізання волокон металу, незначний нагрів його поверхневого шару, зміцнення за рахунок наклепу і стискаючих напруг, відсутність шаржування в поверхневому шарі сторонніх частинок.

В результаті вібронакатування досягається значне збільшення ресурсу роботи передачі, що позитивно позначається на економії коштів і часу.

*Висновки.* Мікрорельєф, сформований віброобробкою, підвищує плавність роботи рухомого сполучення за рахунок зниження коефіцієнта тертя в 1,6 ... 2,2 рази. При сухому терті канавки працюють як пастки, що затримують в собі продукти зносу, пил і абразивні частки, завдяки чому усувається їх абразивна дія. Створення регулярного мікрорельєфу на обох поверхнях пари тертя підвищує зносостійкість сполучення в середньому в 2 рази.

Список використаних джерел.

1. Попова В.В. Поверхностное пластическое деформирование и физикохимическая обработка: Учебное пособие. Рубцовск, 2013. 98 с.

2. Кашкаров А.А., Мамонтов В.А. Методика исследования влияния шероховатости переходных поверхностей зубьев, упрочненных поверхностным пластическим деформированием, на их изгибную выносливость. *Пробл. динамики и прочности исполнительных механизмов и машин: Материалы научн. конф.* Астрахань: АГТУ. 2002. С. 278-280.

3. А.С. № 23770, Поветкин В. В., Сушкова О. А. Способ упрочнения зубчатых колес. Опубликовано 14.09.2012. Бюллетень № 9.



4. А.С. № 33654 Поветкин В.В., Сушкова О.А., Ибрагимова З.А. Способ упрочнения зубчатых колес привода шаровых мельниц. Опубликовано 26.12.2014. Бюллетень № 12.
5. Cao, S. C., Zhang, X., Lu, J., Wang, Y., Shi, S.-Q., Ritchie, R. O. Predicting surface deformation during mechanical attrition of metallic alloys. *Npj Computational Materials*, 2019, 5 (1). doi: <https://doi.org/10.1038/s41524-019-0171-6>
6. Ляшенко Б.А., Посвятенко Э.К., Довжук С.А., Златопольский Ф.Й. Основные направления развития поверхностного упрочнения зубчатых колес. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*, 2011. Вип. 24, ч. II С.8.
7. Guo Rui, Wang Ronghua. Дробеструйная обработка зубчатых колес. *Jinshu rechuli=Heat Treat. Metals*. 2001. № 6. С.21-23.
8. Поветкин В.В. 1, Керимжанова М.Ф., Ибрагимова З.А., Даиров А.А., Исаева И.Н. Повышение износостойкости поверхностей зубчатых зацеплений методами энергетической активации. [http://konf-sev.donntu.org/sbornik/Pdf\\_2\\_15/076-081.pdf](http://konf-sev.donntu.org/sbornik/Pdf_2_15/076-081.pdf)
9. Ariura Yasutsune, Morikawa Hiroshi. Качество поверхности колес после дробеструйной обработки. *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* С. 2000. № 643. Рр. 240-247.
10. Kovaci, H., Bozkurt, Y. B., Yetim, A. F., Aslan, M., Çelik, A. The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel. *Surface and Coatings Technology*, 2019. 360, 78–86. doi: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.003>
11. Hu, J., Shimizu, T., Yoshino, T., Shiratori, T., Yang, M. Ultrasonic dynamic impact effect on deformation of aluminum during micro-compression tests. *Journal of Materials Processing Technology*, 258, 144–154. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2018.03.021>
12. Nadano Hiromasa. Повышенная стойкость азотированных ножек зубьев цилиндрической передачи из нержавеющей SUS440С стали. *Trans. Jap. Soc. Mech. Eng.* Рр. 2002, №680. С.1840-1847.
13. А.С. № 1238410, Сорокина Т.Н. Волков В.И. Способ упрочнения металлических деталей. Опубликовано 01.20.2006. Бюллетень № 10.
14. Kelemesh, A., Gorbenko, O., Dudnikov, A., Dudnikov, I. Research of wear resistance of bronze bushings during plastic vibration deformation. *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*, 2017, 2 (11 (86)), 16–21. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.97534>.
15. Oleksii Novyk, Valeriia Panina, Halyna Dashyvets and Andriy Bondar. Increase in Durability of Motor Crankshaft Pin Surface by Vibrorolling. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. P.177-182.



16. Дідур В.В., В'юник О.В. Спосіб підвищення післяремонтної довговічності шестеренних насосів. *Праці ТДАТУ*. Вип. 19, том 4. Мелітополь, ТДАТУ, 2019. С.110-117.

17. Новік О.Ю., Паніна В.В., Дашивець Г.І. Обґрунтування режимів вібронакаткування поверхонь деталей циліндро-поршньової групи двигуна. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2017. Вип.5. С.50-56.

18. Дудников, А. А., Дудник, В. В., Келемеш, А. А., Горбенко, А. В., Лапенко, Т. Г. Повышение надежности деталей машин поверхностным пластическим деформированием. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2017, 3 (86), С.74–78.

19. Журавель Д.П., Бондар А.М. Методичні вказівки до самостійної роботи з навчальної дисципліни «Триботехніка». Мелітополь: ТОВ «Колор Принт», 2019. 112 с.

20. Rostislav I. Nepershin. Surface Plastic Deformation by Sliding Elliptical Cylinder. *Journal of Materials Science and Chemical*. Vol.3 No.1, January 2015.

#### **ОБРОБЛЕННЯ РОБОЧИХ ПОВЕРХОНЬ ЗУБЧАСТИХ КОЛІС ПОВЕРХНЕВО-ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМУВАННЯМ**

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

##### *Анотація*

В статті розглядаються існуючі технології зміцнення поверхневого шару зубчастих коліс з застосуванням поверхнево-пластичної деформації. Основою вібраційного зміцнення є динамічний характер протікання процесу, що супроводжується безліччю мікроударів робочого інструмента або частинок робочого середовища по поверхні оброблюваних деталей. Обробка поверхнево-пластичним деформуванням з застосуванням вібраційних коливань обробного інструменту забезпечує поліпшення фізико-механічних властивостей обробленої поверхні. Це відбувається за рахунок циклічного впливу на деталь, що обробляється через робочий інструмент. Мікрорельєф, сформований віброобробкою, підвищує плавність роботи рухомого сполучення за рахунок зниження коефіцієнта тертя в 1,6 ... 2,2 рази. Створення регулярного мікрорельєфу на обох поверхнях пари тертя підвищує зносостійкість сполучення в середньому в 2 рази.

**Ключові слова:** поверхневий шар, метод зміцнення, поверхнево-пластична деформація, мікрорельєф, вібронакаткування.

#### **ОБРАБОТКА РАБОЧИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ**

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

##### *Аннотация*

В статье рассматриваются существующие технологии упрочнения поверхностного слоя зубчатых колес с использованием поверхностной пластической деформации. Основой вибрационного упрочнения является



динамичный характер прохождения процесса, что сопровождается бесконечными микроударами рабочего инструмента или частей рабочей среды по поверхности обрабатываемой детали. Обработка поверхностной пластической деформацией с использованием вибрационных колебаний обрабатываемого инструмента обеспечивает улучшение физико-механических свойств обрабатываемых поверхностей. Это происходит за счет циклического воздействия на обрабатываемую деталь через рабочий инструмент. Микрорельеф, полученный вибронкаткой, повышает плавность работы подвижного соединения за счет снижения коэффициента трения в 1,6...2,2 раза. Создание регулярного микрорельефа на обеих поверхностях пары трения повышает износостойкость соединения в среднем в 2 раза.

**Ключевые слова:** поверхностный слой, метод упрочнения, поверхностная пластическая деформация, микрорельеф, вибронкатка.

## **PROCESSING OF WORKING SURFACES OF GEAR WHEELS BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION**

**Panina V., Dashyvets H., Novyk O.**

### *Summary*

The article considers the existing technologies of strengthening the surface layer of gears with the use of surface-plastic deformation. In practice, surface hardening has developed and operates more than 130 different technologies. Damage to the economy of Ukraine can be caused by the use of economically inefficient processing methods due to limited information, as well as contradictions and opposite trends in the development of certain technologies. The current direction in technical service is surface hardening and drawing of strengthening coverings on gear wheels. The purpose of the article is to analyze the directions of development of surface hardening of gears, comparison of advantages and disadvantages of separate technologies, and also to estimate the most perspective decisions. The basis of vibration hardening is the dynamic nature of the process, accompanied by many micro-shocks of the working tool or particles of the working medium on the surface of the workpiece. This provides plastic deformation of the surface layer, which leads to increased microhardness, the formation of favorable compressive residual stresses and reduce surface roughness. Surface-plastic deformation treatment with the use of vibration oscillations of the processing tool improves the physical and mechanical properties of the treated surface. This is due to the cyclic effect of vibration on the part being machined through the work tool. As a result of vibration rolling, a significant increase in the service life of the transmission is achieved, which has a positive effect on saving money and time. The microrelief formed by vibration processing increases the smooth operation of the mobile connection by reducing the coefficient of friction by 1.6-2.2 times. When dry friction, the grooves work as traps that retain wear products, dust and abrasive particles, thus eliminating their abrasive effect. Creating a regular microrelief on both surfaces of the friction pair increases the wear resistance of the joint by an average of 2 times.

**Key words:** surface layer, hardening method, surface-plastic deformation, microrelief, vibration rolling.



УДК 664. 1: 536.66

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-21

## ДЕРИВОТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ РОЗРОБЛЕНИХ МОЛОКОВМІСНИХ ТЕРМОСТАБІЛЬНИХ НАЧИНОК З ЖЕЛАТИНОМ ТА ТРАНСГЛЮТАМІАЗОЮ

Кошель О. Ю., ст. викл.

ORCID: 0000-0002-2184-2106

Перцевой Ф. В., д.т.н., проф.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Марченко О. С., магістр

ORCID: 0000-0003-4778-5012

Чуйко О. В., асист.

ORCID: 0000-0001-6721-6314

Самілик М. М., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-4826-2080

*koshelolena85@ukr.net**Сумський національний аграрний університет*e-mail: *koshelolena85@ukr.net*

*Постановка проблеми.* Групою авторів [1] було розроблено термостабільну молоковмісну начинку з желатином, трансглютаміназою та сумішшю полісахаридів. Також проведені дослідження по взаємодії усіх рецептурних компонентів начинки.

Після проведення експериментальних досліджень встановлено, що під час використання в рецептурному складі сумішей полісахаридів, мальтодекстрину, цукрової пудри та сухого знежиреного молока переважає зв'язана волога. Зв'язана волога, на відміну від вільної, характеризується складністю видалення, оскільки для цього необхідна висока температура, що супроводжується поглинанням (ендотермічне перетворення) або виділенням тепла (екзотермічне перетворення). Таким чином, відбуваються фізико-хімічні зміни в системах, зокрема зміни маси під час дії температури.

В даний час термічний аналіз і, зокрема, деривотографія, є одним з найпоширеніших фізико-хімічних методів досліджень. Він дозволяє дослідити поведінку індивідуальних речовин і композицій в умовах програмованого нагріву. На практиці класифікація і кількісна оцінка різних процесів, що відбуваються при нагріванні зразків, здійснюються за кривими тепловиділення та кривими втрати маси [2]. Особливий інтерес представляє визначення кінетичних параметрів цих процесів, а також оцінювання механізмів їх протікання.

*Аналіз останніх досліджень.* У статті [3] досліджено процеси, перебіг яких відбувається під час зберігання хліба заварного із житнього борошна, та вплив борошна частково знежиреного (БЧЗ) з насіння: гарбуза, кунжуту, горіха волоського та порошку топінамбура (ПТ) на збереження свіжості готового виробу. Авторами встановлено,



що при зберіганні протягом п'яти діб у житньому заварному хлібі відбуваються процеси визрівання структури м'якушки, що виражається у руйнуванні кристалічних біополімерів борошна. При цьому видаляється вільна вода, а кількість міцно зв'язаної води залишається майже незмінною; енергія активації води в м'якушці хліба зростає на 5...7%.

Науковці [4] дослідили форми зв'язку вологи в хлібі, збагаченого кедровим борошном і отриманим з використанням активованої води в процесі зберігання з допомогою метода диференціально-термічного аналізу. В рамках даної роботи використовувався деривотограф simultaneous TG-DTA DSC Apparatus. За результатами дослідження простежується залежність збільшення загального з триманної адсорбційно і осмотично зв'язаної вологи в хлібі з кедровим борошном, на початковому етапі зберігання. Збільшення частки вологи з високою енергією зв'язку зразку хліба з кедровим борошном може бути обумовлено декількома причинами, серед яких збільшення масової частки білка (біополімеру, переважно утримуючи вологу за рахунок осмосу).

Автори [6] в результаті експериментальних досліджень із вивчення кінетичних параметрів ендотермічних процесів термостійкої начинки, встановили, що концентрат насіння кунжуту сприяє стійкості начинки до впливу високих температур і знижує втрати маси вологи. Було встановлено, що найбільшої втрати маси вологи зазнали зразки ТН після зберігання за обох режимів, що, імовірно, пов'язано із здатністю крохмалю утримувати вологу, але має місце ретроградація (старіння). У цьому випадку волога під час зберігання зв'язується пектином та іншими рецептурними компонентами з гідрофільними властивостями (дія крохмалю послаблюється). Це зумовлює зниження температурного впливу для руйнування тих чи інших хімічних зв'язків між рецептурними компонентами ТН під час зберігання.

В роботі [7] встановлено, що процес видалення вологи із зразків дисперсної емульсійної системи без олії відбувається в одну стадію із зразків дисперсної емульсійної системи із кількістю додатково внесеної олії 100 % – в три стадії на що вказують відповідно один та три характерні ендотермічні ефекти, за яких швидкість втрати маси (крива DTG) максимальна. Наведені дані свідчать, що положення ендотермічних ефектів дослідних зразків відрізняються та характеризуються температурами, за яких відбувається видалення вологи з різною формою та енергією зв'язку. Для дисперсної емульсійної системи без олії зафіксовано пік за температури 118 С, для дисперсної емульсійної системи з кількістю додатково внесеної олії 100 % – за температур 80, 110 та 129 С. На підставі отриманих результатів слід вважати, що волога в дисперсійній емульсійній системі без олії та





дисперсній емульсійній системі з кількістю додатково внесеної олії 100 % знаходиться у різних формах з різною енергією зв'язку, тобто має широкий спектр «зв'язаності».

*Формулювання цілей статті.* Проведений огляд літератури дозволив нам сформулювати завдання, які необхідно вирішити:

- дослідити деривотографічні дослідження компонентів розроблених молокозмісних термостабільних начинок;
- визначити, яким процесом супроводжується нагрівання модельних систем;
- в ході досліджень встановити фізико-хімічний зв'язок з сухими речовинами та встановити діапазон температур..

*Основна частина.* Сутність досліджень із застосуванням деривотографії полягає в тому, що в процесі безперервного програмованого нагріву зразка фіксуються зміни, що відбуваються в ньому: втрата маси (TG), обумовлена виділенням летючих компонентів або протіканням хімічної реакції зі зміною маси зразка; поглинання або виділення теплоти (DTA) внаслідок фазових переходів швидкість зміни маси (DTG).

Об'єктами деривотографічних досліджень (Рис.1) є наступні модельні системи:

- модельна система із камеді ксантану і камеді тари (а);
- модельна система із камеді ксантану, камеді тари та желатину (б);
- модельна система із камеді ксантану, камеді тари, желатину та мальтодекстрину (в);
- модельна система із камеді ксантану, камеді тари, желатину, мальтодекстрину і сухого знежиреного молока (г);
- модельна система із камеді ксантану, камеді тари, желатину, мальтодекстрину, сухого молока і цукрової пудри (д);
- начинка термостійка молокозмісна (е).

На рис. 1 для досліджуваних модельних систем наведено деривотограми, що містять кінетику температури (Т), втрати маси (TG), поглинання або виділення теплоти (DTA), швидкості зміни маси (DTG).

Експеримент проводився за умови заданого монотонного збільшення температури. З рис.1 видно, що для всіх досліджуваних зразків DTG та DTA спрямовані у бік зменшення температури. Таким чином слід вважати, що процес нагрівання модельних систем супроводжується поглинанням теплоти, тобто є ендотермічним.

Дериваторами для всіх зразків можна розділити на три основних етапи (відділені на рис.1 пунктирною лінією). Розглянемо кожний із етапів, а саме: який вид мають наведені кінетики на кожному із виділених частин процесу нагрівання.

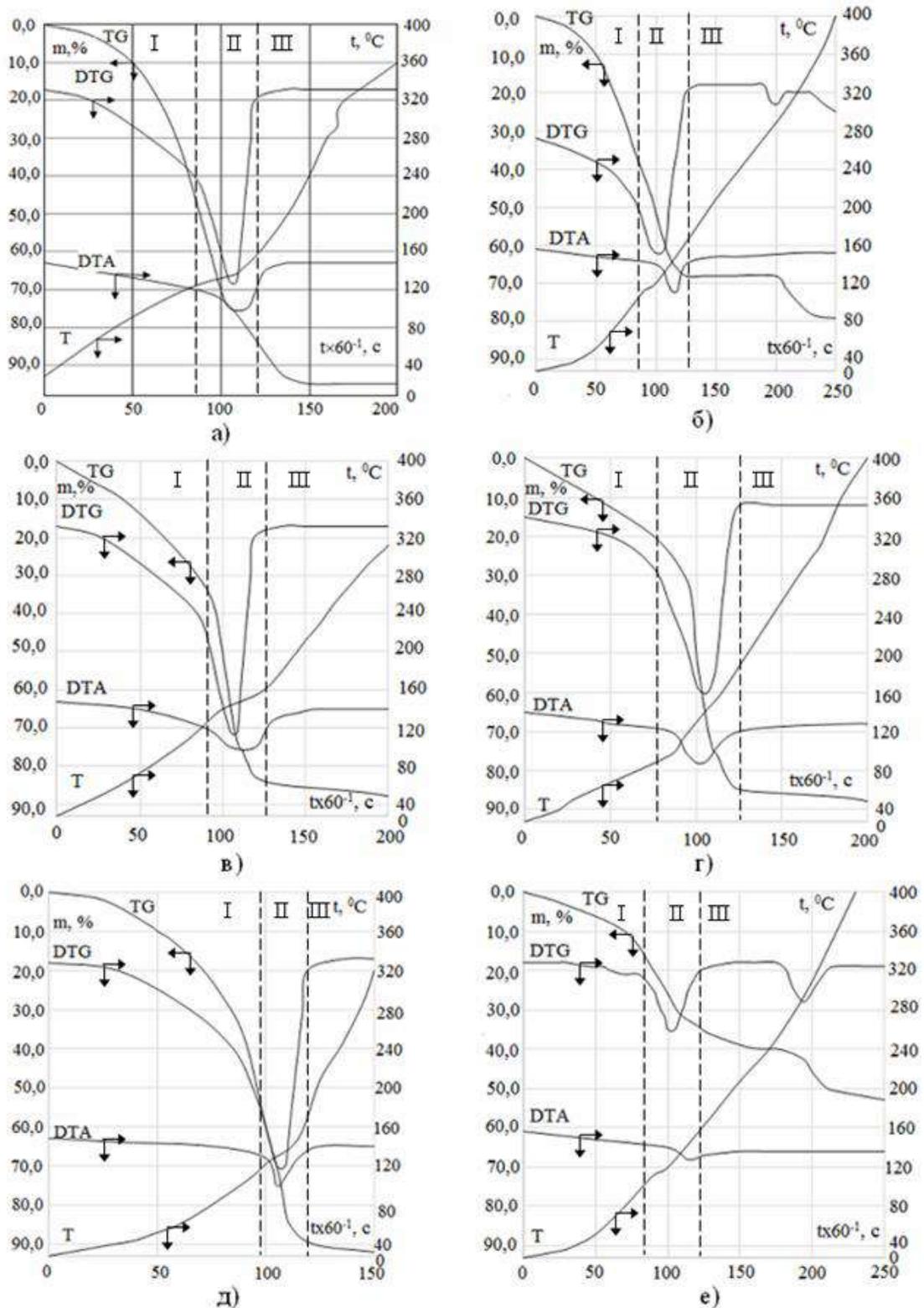


Рис. 1. Деривотограми досліджуваних модельних систем

На першому етапі відбувається нагрівання модельної системи, про що свідчить монотонна зміна температури (Т) з часом. Внаслідок



нагрівання відбувається збільшення інтенсивності випаровуванням води з поверхні модельної системи: кінетика втрати маси (TG) змінює кут нахилу відносно осі, на якій відкладено час. Підтверджує збільшення інтенсивності випаровування води і кінетика зміни маси (DTG): змінюється кут нахилу кривої до осі абсцис.

На другому етапі процесу на кінетиках втрати маси (TG) та швидкості зміни маси (DTG) наявні характерні для всіх модельних систем піки, які відповідають інтенсивному видаленню маси із зразків за рахунок переходу води із рідкого в газоподібний стан по всьому об'єму системи. Дані піки відповідають кипінню рідини, що утримують модельні системи. На ділянках часу, які відповідають даним пікам, кінетика температури (T) та кінетика поглинання теплоти (DTA) змінюють кут нахилу до осі, на якій відкладено час. Кут нахилу кінетики температури зменшується, що свідчить про наявність фазового переходу I роду.

Слід відмітити, що ширина та інтенсивність піків на другому етапі процесу нагрівання для різних модельних систем відрізняється. Це обумовлюється кількістю води, для якої відбувається фазовий перехід I роду.

Про завершення другого етапу свідчить повторна зміна кута нахилу кінетики температури (T) та вирівнювання кінетики втрати маси (TG) та швидкості зміни маси (DTG).

На третьому етапі продовжується нагрівання зразка до кінцевої температури, при цьому відбувається термічне розкладання речовин досліджуваних модельних систем з виділенням газоподібних речовин.

Температура, за якої відбувається інтенсивний перехід води із рідкого або аморфного в газоподібний стан по всьому об'єму системи, для всіх зразків лежить у межах діапазону від 115°C до 125°C. Відомо, що фазовий перехід I роду для об'ємної води (так званої вільної води) має місце за температури 100°C. За температур із діапазону від 115°C до 125°C до газового стану переходить фізико-хімічна волога, яка в свою чергу підрозділяється на адсорбційно й осмотично зв'язану. До осмотичної відноситься волога набрякання й волога іммобілізована усередині кліток колоїдною оболонкою. До адсорбційно зв'язаної вологи відноситься волога, що утворює мономолекулярний шар з молекулами сухих речовин. Вона зв'язана більш міцно з речовиною порівняно з осмотичною. У наступних шарах енергія зв'язку постійно зменшується. Саме наявність фізико-хімічного зв'язку води з сухими речовинами модельних систем є причиною того, що перехід води даних модельних систем до газового стану відбувається за температури більшої 115°C. При цьому, оскільки не існує чіткої границі між різними формами зв'язку води, то температура фазового переходу I роду для такої вологи визначається саме діапазоном температур.



Необхідно відмітити, що на деривотограмах відсутні видимі піки, що відповідають фазовому переходу вільної води до газового стану, тобто піків за температури 100°C. Даний факт свідчить або про відсутність вільної води (тобто вся вода модельних систем зв'язана тим, або іншим механізмом з сухими речовинами), або про її незначну кількість.

*Висновки.* Деривотографічними дослідженнями встановлено, що основна частина води модельних систем знаходиться у фізико-хімічному зв'язку з сухими речовинами. При цьому фазовий перехід системної води I роду із рідкого або аморфного стану в газоподібний відбувається в діапазоні температур від 115°C до 125°C.

Список використаних джерел.

1. Перцевой Ф. В., Бідюк Д. О., Кошель О. Ю. Аналітичне обґрунтування та вибір бінарної комбінації полісахаридів для термостійких молокозмісних начинок. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. Харків: ХДУХТ, 2018. Вип. 1(27). С. 122-133.

2. Уварова В. А., Мурашев В. И. Дериватографический метод определения кинетических параметров термической деструкции веществ и материалов, используемых в угольных шахтах. *Вестник Научного центра по безопасности работ в угольной промышленности*. 2012. № 2. С. 175–179.

3. Pashova N. The influence of the flour of partially defatted oil seeds and artichoke on rye bread staling / N. Pashova, G. Voloshchuk, V. Fomenko, V. Mank // *National University of Food Technologies Scientific Works of NUFT* 2019. Vol. 25, Pp. 204-216

Разработка алгоритма оценки конкурентоспособности обогащенных хлебобулочных изделий / Л. П. Нилова и др. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Сер. Экономика и менеджмент*. 2012. № 22. С. 185-191.

5. Любенко Г. Д. Технологія термостійких та заморожених начинок з використанням молочної сировини і концентрату насіння кунжуту: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.13 / ХДУХТ. Харків, 2016. 20 с.

6. Бідюк Д. О. Технологія продукту сирного кисломолочного з використанням рослинного наповнювача емульсійного типу: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.18.16 / ХДУХТ. Харків, 2013. 24 с.

7. Aymeson A. Food thickeners, stabilizers, gel-forming agents [Pishchevyue zagustiteli, stabilizatory, geleobrazovateli], ID «Professiya» 2012. 408 p.

8. Phillips G.O., Williams P.A. Handbook of hydrocolloids [Spravochnik po gidrokolloidam] SPb. GIORD. 2006. 536 p.



9. Rohart K., Michon C. G. Designing microstructure into xanthan gum-enriched acid milk gels. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2015. Vol. 25 P. 53-57. DOI: 10.1016 / j.ifset.2014.01.002.

10. Effect of xanthan gum on palm oil in vitro digestion. Application in starch-based filling creams / M. K. Espert et al. *Food Hydrocolloids*. 2019. Vol. 86. P. 87-94. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2018.02.017.

11. Yanbei W. D. The Gelation Properties of Tara Gum Blended with  $\kappa$ -Carrageenan or Xanthan. *Food Hydrocolloids*. 2018. Vol. 77. P. 764-771. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2017.11.018.

12. The development of technology of functional beverages based on whey and plant extracts E. Cherevach., L. Tenkovskaya. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh proizvodstv*; kemerovo том 39, изд. 4, (2015): 99-105.

#### **ДЕРИВОТОГРАФІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОМПОНЕНТІВ РОЗРОБЛЕНИХ МОЛОКОВМІСНИХ ТЕРМОСТАБІЛЬНИХ НАЧИНОК**

**Кошель О.Ю., Перцевой Ф.В., Марченко О.С., Чуйко О.В.**

##### *Анотація*

В статті наведено деривотографічні дослідження компонентів розроблених молоковомісних термостабільних начинок. Сутність досліджень із застосуванням деривотографії полягає в тому, що в процесі безперервного програмованого нагріву зразка фіксуються зміни, що відбуваються в ньому: втрата маси (TG), обумовлена виділенням летючих компонентів або протіканням хімічної реакції зі зміною маси зразка; поглинання або виділення теплоти (DTA) внаслідок фазових переходів швидкість зміни маси (DTG). Експеримент проводився за умови заданого монотонного збільшення температури. Для всіх досліджуваних зразків DTG та DTA спрямовані у бік зменшення температури. Таким чином слід вважати, що процес нагрівання модельних систем супроводжується поглинанням теплоти, тобто є ендотермічним.

Деривотографічними дослідженнями встановлено, що основна частина води модельних систем знаходиться у фізико-хімічному зв'язку з сухими речовинами. При цьому фазовий перехід системної води I роду із рідкого або аморфного стану в газоподібний відбувається в діапазоні температур від 115°C до 125°C.

**Ключові слова:** деривотограф, молоковомісна термостабільна начинка, кінетика температури, модельні системи, інтенсивність

#### **ДЕРИВОТОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПОНЕНТОВ РАЗРАБОТОК МОЛОКОСОДЕРЖАЩИХ ТЕРМОСТАБИЛЬНЫХ НАЧИНОК С ЖЕЛАТИНОМ И ТРАНСГЛЮТАМИНАЗОЙ**

**Кошель Е. Ю., Перцевой Ф. В., Марченко Е. С., Чуйко О. В., Самилык М. М.**

##### **Аннотация**

В статье приведены деривотографические исследования компонентов разработанных молокосодержащих термостабильных начинок. Сущность исследований с применением деривотографии заключается в том, что в процессе непрерывного программируемого нагрева образца фиксируются изменения, происходящие в нем: потери массы (TG), обусловлена выделением летучих



компонентов или протеканием химической реакции с изменением массы образца; поглощения или выделения теплоты (DTA) в результате фазовых переходов скорость изменения массы (DTG). Эксперимент проводился при заданном монотонном увеличении температуры. Для всех исследуемых образцов DTG и DTA направлены в сторону уменьшения температуры. Таким образом следует считать, что процесс нагрева модельных систем сопровождается поглощением теплоты, то есть эндотермическим.

Деривотографическими исследованиями установлено, что основная часть воды модельных систем находится в физико-химической связи с сухими веществами. При этом фазовый переход системной воды и рода из жидкого или аморфного состояния в газообразное происходит в диапазоне температур от 115 °C до 125 °C.

**Ключевые слова:** деривотограф, молокодержащая термостабильная начинка, кинетика температуры, модельные системы, интенсивность.

### **DERIVOTOGRAPHIC RESEARCH OF COMPONENTS OF THE DEVELOPED MILK-CONTAINING THERMOSTABLE FILLINGS WITH GELATIN AND TRANSGLUTAMINASE**

**Koshel O. Y., Pertsevoi F. V., Marchenko O. S., Chuiko O. V., Samilyk M. M.**

#### *Summary*

Thermostable fillings are in great demand among consumers nowadays. Manufacturers have requirements for fillings, which are widely used in the confectionery and baking industries. For the use of fillings in products, a large role is played by the filling, which can be in the middle of the product and on its surface. This means that this filling must be thermostable, withstand temperatures up to 220 °C when baking products. Therefore, the production of thermostable fillings is very important and for this there is a need to increase the range of confectionery.

The article presents derivographic studies of the components of the developed milk-containing thermostable fillings. The essence of research using derivography is that in the process of continuous programmed heating of the sample recorded changes occurring in it: weight loss (TG), due to the release of volatile components or a chemical reaction with a change in the mass of the sample; heat absorption (DTA) due to phase transitions mass change rate (DTG). The experiment was performed under the condition of a given monotonic increase in temperature. For all tested samples, DTG and DTA are aimed at reducing the temperature. Thus, it should be assumed that the heating process of model systems is accompanied by heat absorption, ie is endothermic.

Derivographic studies have shown that the bulk of the water in the model systems is in physicochemical contact with dry matter. The phase transition of systemic water of the first kind from liquid or amorphous state to gaseous occurs in the temperature range from 115 °C to 125 °C.

**Key words:** derivograms, milk-containing thermostable filling, temperature kinetics, model systems, intensity.



УДК 631.365:621.31

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-22

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ФРУКТІВ У ГЕЛІОСУШАРЦІ

Боярчук В.М., к. т. н.

ORCID: 0000-0001-8294-8759

Коробка С.В., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-4717-509X

Бабич М.І., к.т.н.,

ORCID: 0000-0002-3061-9176

Кригуль Р.Є., к.т.н.,

ORCID: 0000-0003-1295-4162

*Львівський національний аграрний університет*

e-mail: krrroma@ukr.net

*Постановка проблеми.* У практиці є велика кількість різноманітних способів і методів сушіння фруктів, в основному вони засновані на теплофізичних явищах процесу випаровування вологи з продукту. Це обумовлюється специфічними властивостями хімічного складу клітин фруктів, які характеризуються термостабільністю, а також підвищеною чутливістю до зовнішніх чинників (зміни температури, вологості, швидкості теплоносія, тиску середовища, швидкості зневоднення тощо) [1]. Для забезпечення процесу сушіння необхідні значні затрати теплової енергії. В якості тепла можна використовувати енергію сонця, для цього необхідно мати, конструкцію геліосушарки з оптимальними параметрами.

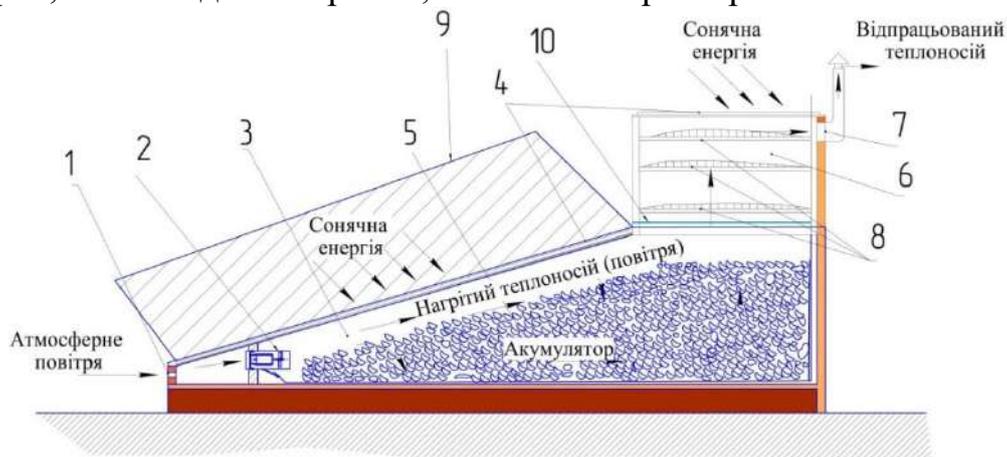
Тому, під час дослідження технологічного процесу сушіння фруктів сонячним випромінюванням необхідно залучати вивчення енергетичних параметрів теплоносія, фізико-механічних властивостей фруктів як об'єкта сушіння і вибір та обґрунтування режимів процесу. Розробка нових і вдосконалення існуючих технологій і апаратів сушіння регламентуються як інтенсивностями тепловологообміну між теплоносієм та об'єктом сушіння, так і інтенсивностями кінетичних параметрів всередині матеріалу, зокрема зміни вологості висушеного матеріалу. Крім цього, необхідно враховувати зміни між теплофізичними параметрами висушуваних фруктів і фізичними параметрами навколишнього середовища. Вирішення питання енергоресурсозбереження ускладнюється ще й тим, що фрукти характеризуються високою мінливістю теплофізичних, фізико-механічних, структурно-механічних, хімічних властивостей. Тому, експериментальні дослідження конвективного способу сушіння у геліосушарці є актуальною задачею, яка є основою для вдосконалення технології та техніки сушіння фруктів.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз літературних джерел дає змогу простежити і розглянути різноманітні варіанти сонячних геліосушильних установок де розглянутий сучасний стан і перспективи зниження енерговитрат в технології сушіння фруктів, технічних засобів сушіння, перспективи використання геліоустановок в процесі сушіння фруктів [2, 3, 4, 5, 6].

Дослідженням конструктивно-технологічних параметрів і технології сушіння фруктів в сонячних геліосушильних установках присвячені праці вчених: *Seetapong N., Chulok S., Khoonphunnarai P., Холманского А.С., Тилова А.З., Тюхова И.И.* тощо [7, 8, 9, 10]. Однак питанню розробки і дослідженню технологічних процесів сушіння фруктів в сонячних геліосушильних установках приділено недостатньо уваги, що потребує подальшого вирішення.

*Формування мети статті.* Метою даного дослідження є інтенсифікація процесу виробництва сушених фруктів з використанням сонячної енергії та підвищення ефективності технологічного процесу сушіння фруктів шляхом об'єднання у єдиний енергетичний блок в геліосушарці повітряного колектора, плоского дзеркального концентратора та теплового акумулятора.

*Основна частина.* В агропромисловому комплексі активні системи використання сонячної енергії знайшли широке застосування, в таких державах, як Канада, Польща, Франція, Німеччина. Наприклад, для сушіння рослинної сировини, зокрема фруктів, активно використовують сонячну енергію для потреб сушильного господарства в умовах особистого селянського господарства (ОСГ). Для зони західного Полісся можна повноцінно застосовувати такий вид зневоднення матеріалу. Зокрема, в Львівському національному аграрному університеті на кафедрі енергетики була розроблена геліосушарка з тепловим акумулятором та плоским дзеркальним концентратором, що є пасивною системою використання сонячної енергії, яка наведена на рис. 1, а технічні характеристики – в табл. 1.



a





б

Рис. 1. Геліосушарка з тепловим акумулятором та плоским дзеркальним концентратором: *a* – конструктивно-технологічна схема; *б* – загальний вигляд; 1 – вхідний канал; 2 – вентилятор з нагрівачем; 3 – повітропровід; 4 – повітряний колектор; 5 – теплоакumuлюючий матеріал (на основі гальки - каміння); 6 – сушильна камера; 7 – витяжний канал; 8 – решета; 9 – плоский дзеркальний концентратор; 10 – заслінка.

Таблиця 1

Технічні характеристики геліосушарки з тепловим акумулятором та плоским дзеркальним концентратором

Параметр	Показник
Маса висушеного матеріалу $m_{\phi}$ , кг	5,5
Площа повітряного колектора $S_{пк}$ , м <sup>2</sup>	1,5
Площа плоского дзеркального концентратора $L$ , м <sup>2</sup>	1,5
Маса теплового акумулятора $m_{та}$ , кг	50
Внутрішній об'єм сушильної камери $V_{вн.ск}$ , м <sup>3</sup>	0,5

Геліосушарка має рамну конструкцію, в якій передня фронталь складається з протічного каналу, вхідного колектора, виконаного з світлопрозорого матеріалу (скла) та абсорбера. Абсорбер виготовлений із листової міді, покритої термостійкою матовою чорною фарбою  $\epsilon'_{\lambda}$  – інтегральний ступінь чорноти, якої рівний  $\epsilon'_{\lambda} = 0,9$  ( $\epsilon'_{\lambda} = 0,97$  для ( $\lambda$  – товщина шару покриття, мкм)  $\lambda = 4,40$  мкм і  $\epsilon'_{\lambda} = 0,96$  для  $\lambda = 8,8$  мкм). Як додаткове джерело акумулювання сонячного випромінювання використовують акумулятор 5, верхній шар якого, служить тепло сприймаючою поверхнею, і розміщений в низу камери.

Циркуляція нагрітого повітря (сушильного агента 0,6...2,0 м/с) забезпечується осьовим вентилятором, який працює в режимі нагнітання, або всмоктування. Між абсорбером та акумулятором розміщений повітропровід, який здійснює, подачу сушильного агента



(повітря) до сушильної камери. Відведення відпрацьованого сушильного агента і регулювання відносної вологості повітря в сушильній камері, здійснюється через витяжний канал, з встановленим дифузором, і теплоізолюваною стінкою.

*Геліосушарка працює таким чином.* Решета заповнюються фруктами на 3/4 своєї площі. Повітря з навколишнього середовища під дією осьового вентилятора поступає у повітропровід, проходить, між абсорбером вхідного колектора і поверхнею акумулятора, підігрівається, надходить у сушильну камеру. Надлишок теплової енергії сприймає акумулятор. Відпрацьований сушильний агент, надходить у витяжний канал (дифузор), і видаляється. В нічний час геліосушарка працює за рахунок тепла, накопиченого в акумуляторі.

Для того щоб здійснити експериментальні дослідження конвективного сушіння у геліосушарці, необхідно підготувати стенд до роботи, зокрема:

1. встановити сприймаючу поверхню повітряного колектора відносно кута надходження сонячної радіації;
2. під'єднати датчики стенду до вимірювальних приладів, а прилади через комунікаційний кабель RS 232 до ПК;
3. підключити осьовий вентилятор і вимірювальні прилади до електромережі;
4. обрати швидкість циркуляції теплоносія (1...2,17 м/с);
5. запустити програмне забезпечення і зняти дані технологічних параметрів процесу сушіння.

Температура в контрольних точках визначається через кожні 3600 с, а швидкість руху теплоносія – на початку і в кінці теплового акумулятора. За швидкістю руху теплоносія і діаметром вихідного отвору, визначалася витрата відпрацьованого теплоносія.

Відносна вологість повітря (теплоносія), вимірювалась стаціонарним термогігрометром через кожні 3600 с разом із вимірюванням температури.

Зміну надходження інтенсивності сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню повітряного колектора визначали через кожні 3600 с.

Експериментальні дослідження геліосушарки проведені з метою оцінки наступних параметрів:

- інтенсивність випромінювання на сприймаючу поверхню,  $E$  Вт/м<sup>2</sup>; температура навколишнього середовища,  $T_{nc}$  (°C);
- температура сушильного агента (теплоносія),  $T_{ca}$  (°C);
- температура акумулятора,  $T_{ак}$  (°C);
- температура матеріалу який висушується,  $T_m$  (°C);
- швидкості руху агента сушіння,  $v_{ц}$ , м/с;
- вологість фруктів,  $W$  (%).



На підставі цих даних можна розраховувати:

- ✓ кількість отриманої теплової енергії геліосушаркою,  $Q_{те}$  (кДж),
- ✓ теплову потужність геліосушарки  $Q_{гс}$  (Вт/м<sup>2</sup>),
- ✓ теплову потужність акумулятора  $Q_{ак}$  (Вт/м<sup>3</sup>),
- ✓ витрату теплоносія,  $Q$  (м<sup>3</sup>).

Дослідження проводилися з 24 по 25 серпня 2020 року.

За допомогою спеціалізованого програмного забезпечення: TPара 8; UNI-T UT-362; UNI-T UT-70B; Graphik, можна: знімати дані приладів (результати вимірювань), змінювати діапазони вимірювань приладів, архівувати, здійснювати керування системою, регулювання, сигналізацію, підтримувати зв'язок з персональним комп'ютером.

Для виміру температури навколишнього середовища, теплоносія, акумулятора, використовувалося 8 датчиків термоопору і восьми каналний вимірювач-регулятор температури РТ-0102-8 з виведенням результатів вимірів на ПК. Температура і вологість фруктів вимірювалася приладом БФС-1А. Швидкість циркуляції сушильного агента і витрату теплоносія, досліджували за допомогою термоанемометричного вимірювача UT-362. Надходження інтенсивності сонячного випромінювання на сприймаючу поверхню, повітряного колектора, вимірювали фотоектричним вимірювачем MS6610 і лічильником інтенсивності сонячного випромінювання LB-901. Додатково вимірювали вологість повітря, за допомогою психрометричного вимірювача РТ-0102.

Ефективність роботи конвективної геліосушарки залежить від факторів: орієнтації повітряного колектора, кута нахилу його поверхні до горизонту, географічної широти для м. Корця – 50,61° (Рівненської області), а також забруднення повітря. У період проведення дослідження середнє значення інтенсивності сонячного випромінювання знаходилося в межах 700 – 1100 Вт/м<sup>2</sup> на годину, проте варто відмітити, що максимум було зафіксовано 24 серпня о 13:00 (1345,5 Вт/м<sup>2</sup>).

На прикладі двох, різних за хмарністю неба днів, прослідкуємо, який вплив має інтенсивність сонячного випромінювання на колектор. Проаналізуємо інтенсивність сонячного випромінювання 24 серпня. Цей день був сонячним з невеликою хмарністю у період з 10:00 до 13:00 години, інтенсивність сонячного випромінювання підвищилась з 1135 до 1345,5 Вт/м<sup>2</sup>, проте з 15:00 інтенсивність – знизилась до 949 Вт/м<sup>2</sup>, що відображено на рис. 2. 25 серпня з 14:00 години небо почало затягуватись хмарами, і інтенсивність сонячного випромінювання на колекторі змінилася з 1224 до 1053 Вт/м<sup>2</sup>.

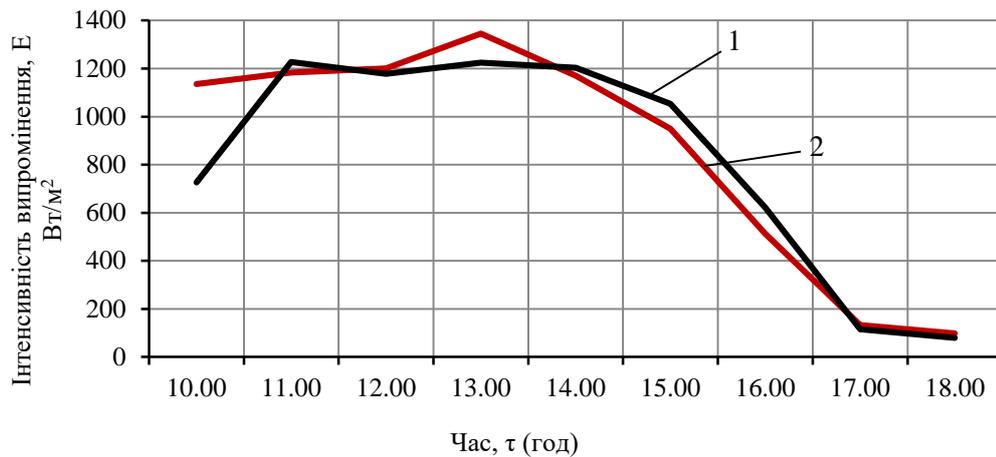


Рис. 2. Середня інтенсивність сонячного випромінювання впродовж дня (1) 24 та (2) 25 серпня 2020 р.

Проаналізовано усі параметри роботи геліосушарки двох досліджуваних днів. У денні години 24-25 серпня потужність геліосушарки дорівнювала у середньому 100 - 120 Вт/м<sup>2</sup>. Зважаючи на те, що діюча поглинальна поверхня геліосушарки - 0,5 м<sup>2</sup>, вона може отримувати у середньому 103 Вт/м<sup>2</sup>...163 Вт/м<sup>2</sup> теплової енергії. Згідно лічильника теплової енергії, геліосушарка виробляла енергію в межах 20...180 Вт/м<sup>2</sup>. Графічно (рис. 3) відобразимо потужність геліосушарки, і кількість отриманої теплової енергії (рис. 4).

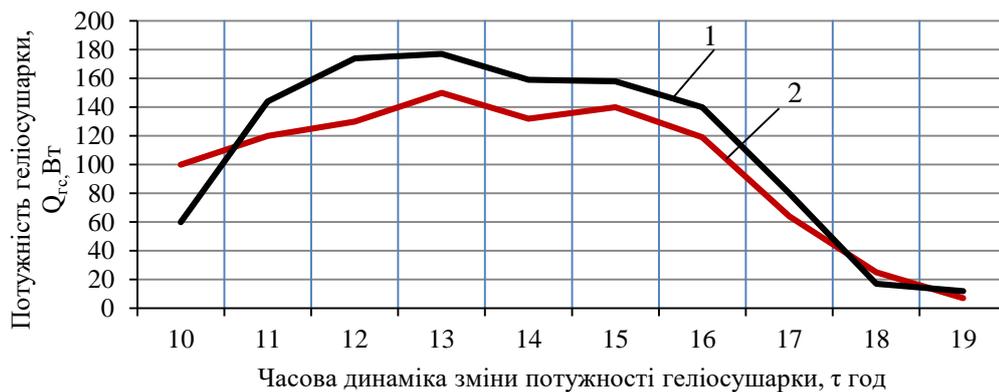


Рис. 3. Середня потужність геліосушарки впродовж (1) 24 та (2) 25 серпня 2020 р.

Форми графіків потужності та енергії, що отримувала геліосушарка подібні. 24 серпня геліосушарка отримувала максимальну енергію - 500 кДж при максимальній потужності - 120-150 Вт (о 13:00 та 16:00 годинах). Максимальна потужність



геліосушарки була вищою 25 серпня, і становила 144 – 177 Вт, що призвело до зростання отриманої енергії - 700 кДж (о 12:00 та 14:00 годинах).

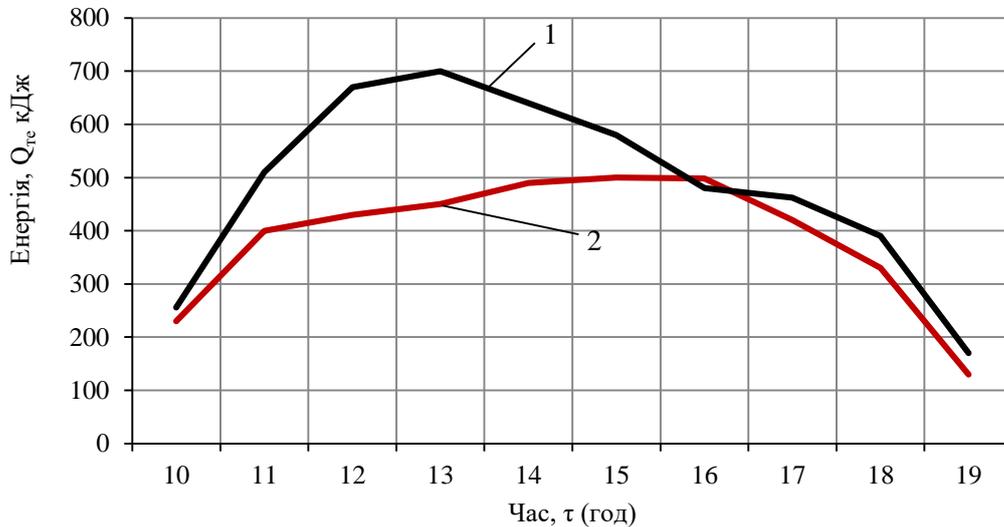


Рис. 4. Кількість теплової енергії отриманої геліосушаркою (1) 24 та (2) 25 серпня 2020 р.

На рисунках 5 і 6 показано температуру теплоносія у різні періоди 24-25 серпня. Наслідком більшої інтенсивності сонячного випромінювання є підвищення температури теплоносія, що протікає через колектор. Так, 24 серпня від 10:00 до 15:00 години акумулятор нагрівався з 31,7 °С до 54,15 °С, тоді, як 25 серпня з 10:00 до 15:00 години температура акумулятора змінювалася з 32,45 °С до 53,55 °С.

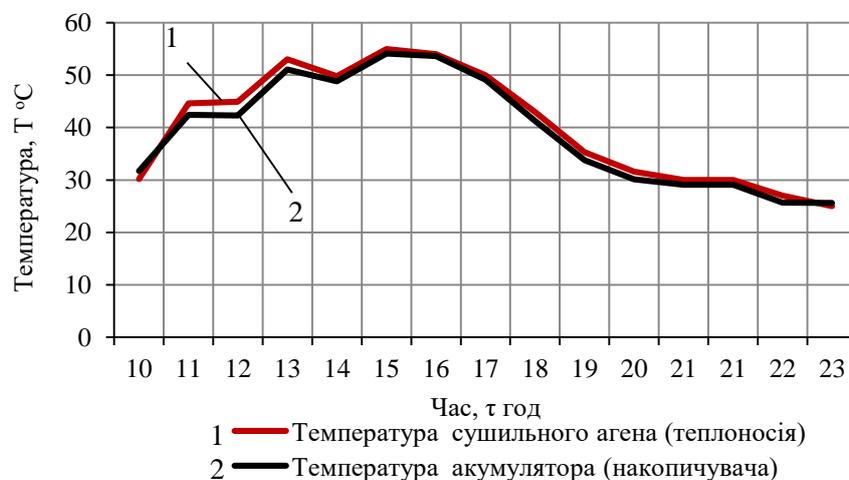


Рис. 5. Температура теплоносія, що протікає через колектор та акумулятор у різні за інтенсивністю сонячного випромінювання періоди 24.08.2020 р.

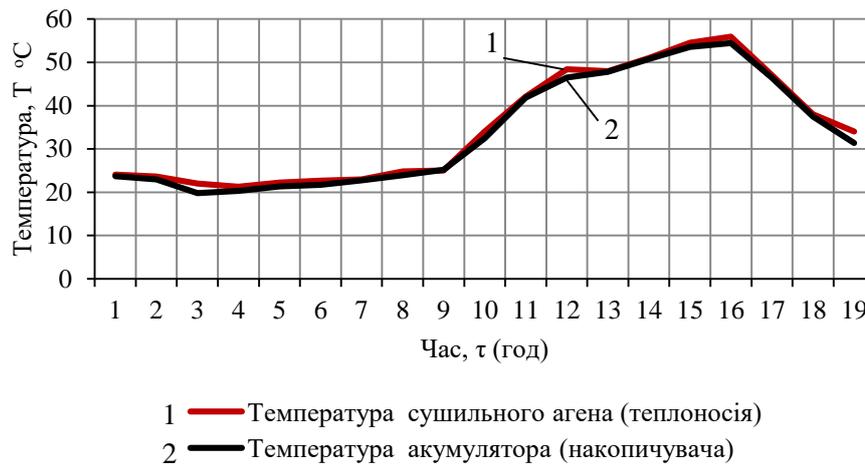


Рис. 6. Температура теплоносія, що протікає через колектор та акумулятора у різні за інтенсивністю сонячного випромінювання періоди 25.08.2020 р.

Подібним чином, змінювалась і температура теплоносія у сонячному колекторі. 24 серпня о 10:00, температура теплоносія становила 30,2 °С, від 13:00 до 15:00 теплоносії нагрівся до максимальної температури 55 °С, після чого з 15:00 до 19:00 температура теплоносія знизилась до 35,3 °С.

25 серпня теплоносії з 10:00 до 13:00 години нагрівався від температури 34 °С до температури 48°С та о 16:00 годині досяг температури 54,5 °С.

Характер зміни досліджуваних параметрів у сушильній камері в процесі сушіння в денний час доби представлений на рис. 7, в нічний час - на рис. 8.

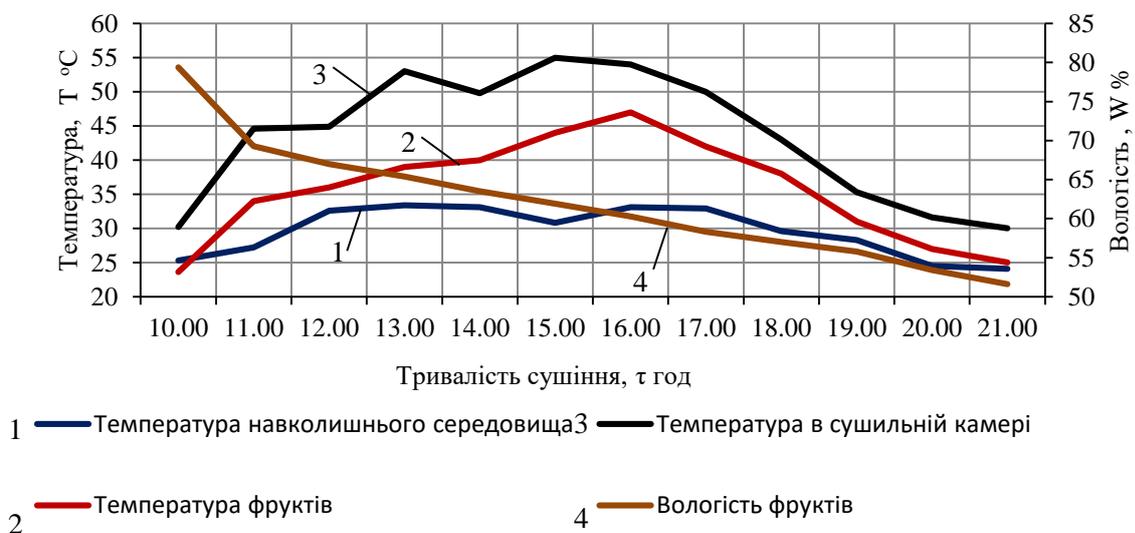
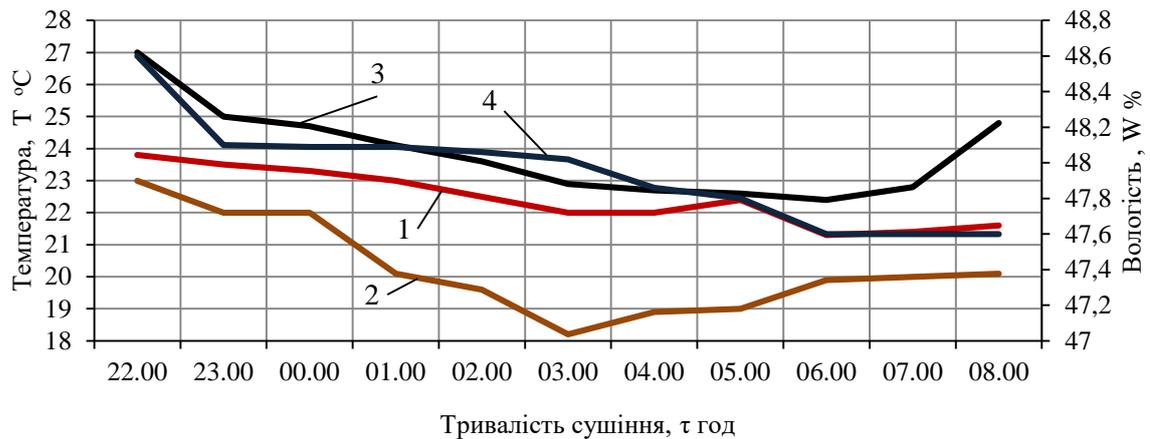


Рис. 7 Зміна температури та вологості фруктів в денний період.



- 1 — Температура навколишнього середовища    3 — Температура в сушильній камері  
2 — Температура фруктів    4 — Вологість фруктів

Рис. 8 Зміна температури та вологості фруктів в нічний період.

Так, 24 серпня в денний період від 9:45 до 18:15 години атмосферне повітря нагрілось з 25,3 °C до 30,4 °C, тоді, як в нічний період з 24 на 25 серпня від 22:00 до 8:00 години температура атмосферного повітря змінювалася з 21,6 °C до 23,8 °C.

Діаграму зміни температури фруктів можна поділити на 3 зони. З 10:00 до 12:00 плавний набір температури: температура фруктів підвищується від 23,6 до 36 °C. В 12:00 годині починається більш інтенсивно прогріватися і в продовж однієї години температура фруктів досягає 39°C. З 15:00 до 16:00 години температура фруктів піднялася до 47 °C. Починаючи з 17:30 інтенсивність прогрівання фруктів зменшилась, і о 21:00 температура фруктів знизилась до 25 °C. Вона підтримувалась на зазначеному рівні в нічний період сушіння, для запобігання підвищення вологи (утворенню точки роси на сировині).

Чим вища початкова вологість фруктів ( $W_{\phi}=79,4 - 47,86 \%$ ), тим більша швидкість сушіння та коротша тривалість сушіння. Це пояснюється тим, що на початку випаровується поверхнева волога ( $W_{\phi}=79,4 - 47,86 \%$ ), а волога з внутрішніх шарів фрукту ( $W_{\phi}=47,86 - 47,6 \%$ ) постійно рухається до зовнішніх шарів, але не встигає підійти до зовнішньої поверхні сировини ( $W_{\phi}=47,6 - 34,9 \%$ ), в цей період настає спадаюча швидкість сушіння, та поглиблення зони випаровування всередину сировини.

*Висновки.* 1. Застосування сонячної енергії для сушіння фруктів є прийнятним для широти розташування Рівненської області, яка має середньорічну потужність сонячного випромінювання порядку 3,41



кВт·год/м<sup>2</sup> за світловий день. Це дозволяє з 1 м<sup>2</sup> площі повітряного колектора отримати від 1,5 до 2,3 кВт·год енергії за добу.

2. Встановлено, що для забезпечення продуктивності геліосушки 1,085...1,87 кг/год сухої продукції її параметри мають бути такими: площа сприймальної поверхні повітряного колектора  $S_{\text{пк}} = 1,5 \text{ м}^2$ ; маса теплового акумулятора  $m_{\text{та}} = 50 \text{ кг}$ ; площа плоского дзеркального концентратора  $L = 1,5 \text{ м}^2$ ; внутрішній об'єм сушильної камери  $V_{\text{вн.ск}} = 0,5 \text{ м}^3$ .

3. На теплопродуктивність повітряного колектора  $Q = 117...480 \text{ Вт}$  суттєво впливає енергетична освітленість  $E^{\text{max}}$ , посилена дзеркальним концентратором, яка становить у ранковий період (з 7<sup>00</sup> до 10<sup>00</sup> год.) від 456 до 965 Вт/м<sup>2</sup> та вечірній період (з 17<sup>00</sup> до 20<sup>00</sup> год.) – від 734 до 223 Вт/м<sup>2</sup>, що дозволяє отримати максимальну поточну теплову потужність геліосушки ( $Q_{\text{гс}} = 117...1429,3 \text{ Вт}$ ).

4. Розв'язання науково-технічної проблеми по вловлюванню і перетворенню сонячної енергії на теплову та використання її для сушіння фруктів є актуальною і на сьогоднішній день. Особливо на теперішньому етапі пошуку і використанню екологічно чистих джерел теплової енергії в агропромисловому комплексі України.

Список використаних джерел

1. Chin S. K., Siew E. S., Soon W. L. Drying characteristics and quality evaluation of kiwi slices under hot air natural convective drying method // *International Food Research Journal*. 2015. Vol. 22, Issue 6. P. 2188–2195.

2. Izli N., Izli G., Taskin O. Influence of different drying techniques on drying parameters of mango. *Food Science and Technology*. 2017. Vol. 37, Issue 4. P. 604–612. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-457x.28316>

3. Multiphysics modelling of convective drying of food materials / Kumar C., Karim A., Saha S. C., Joardder M., Brown R., Biswas D. // *Proceedings of the Global Engineering, Science and Technology Conference*. Bangladesh, 2012. P. 1–13.

4. Berinyuy J. E., Tangka J. K., Weka Fotso G. M. Enhancing natural convection solar drying of high moisture vegetables with heat storage // *CIGR Journal*. 2012. Vol. 14, Issue 1. P. 141–148.

5. Experimental study on eggplant drying by an Indirect solar dryer and open sun drying / Azimi A., Tavakoli T., Beheshti H. K., Rahimi A. // *Iranica Journal of Energy & Environment*. 2012. Vol. 3, Issue 4. P. 347–353. DOI: <https://doi.org/10.5829/idosi.ijee.2012.03.04.09>.

6. Mustayen A. G. M. B., Mekhilef S., Saidur R. Performance study of different solar dryers: A review // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. Vol. 34. P. 463–470. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.03.020>.





7. Thin-Layer Drying Characteristics and Modeling of Chinese Jujubes / Yi X.-K., Wu W.-F., Zhang Y.-Q., Li J.-X., Luo H.-P. // *Mathematical Problems in Engineering*. 2012. Vol. 2012. P. 1–18. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/386214>.

8. Seetapong N., Chulok S., Khoonphunnarai P. Thermal Efficiency of Natural Convection Solar Dryer // *Journal of Physics: Conference Series*. 2017. Vol. 901. P. 012044. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/901/1/012044>.

9. Холманский А. С., Тилов А. З., Тюхов И. И. Исследование кинетики сушки растительных пищевых продуктов // *Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2012. № 2. С. 15–17.

10. Results of research into technological process of fruit drying in the solar dryer / Korobka S., Babych M., Krygul R., Zdobytskyj A. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 1, Issue 8 (91). P. 64–73. DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.122816>.

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ КОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ФРУКТІВ У ГЕЛІОСУШАРЦІ

Боярчук В.М., Коробка С.В., Бабич М.І., Кригуль Р.Є.

#### Анотація

Запропоновано конструкція геліосушарки для сушіння фруктів, яка включає в себе використання плоского дзеркального концентратора – для посилення скісних потоків ранкового і вечірнього сонячного випромінювання, та теплового акумулятора на основі гальки для акумуляування в нічний час надлишкового тепла від резервного джерела енергії. Це дає змогу підтримувати стабільний режим сушіння фруктів впродовж доби та підвищити ефективність процесу сушіння на 20 % в умовах особистих селянських і фермерських господарств.

Розглянуто застосування сонячної енергії для сушіння фруктів на широті розташування Рівненської області, що має середньорічну потужність сонячного випромінювання порядку 3,41 кВт·год / м<sup>2</sup> за світловий день. Це дозволяє з 1 м<sup>2</sup> площі повітряного колектора отримати від 1,5 до 2,3 кВт·год енергії на добу.

Отримані результати можна використати під час прогнозування тепломасообмінних процесів, вдосконалення технології і обладнання для сушіння фруктів у геліосушарці, для підвищення технологічної та енергетичної ефективності процесу.

**Ключові слова:** сонячна енергія, геліосушарка фруктів, конвективне сушіння, дзеркальний концентратор, тепловий акумулятор.

### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ ФРУКТОВ В ГЕЛИОСУШАРКЕ

Боярчук В.М., Коробка С.В., Бабич М.И., Крыгуль Р.Е.

#### Аннотация

Предложена конструкция гелиосушарки для сушки фруктов, которая включает в себя использование плоского зеркального концентратора - для усиления косых потоков утреннего и вечернего солнечного излучения, и теплового



аккумулятора на основе гальки для аккумуляции в ночное время избыточного тепла от резервного источника энергии. Это позволяет поддерживать стабильный режим сушки фруктов в течение суток и повысить эффективность процесса сушки на 20% в условиях личных крестьянских и фермерских хозяйств.

Рассмотрено применение солнечной энергии для сушки фруктов на широте расположения Ровенской области, имеет среднегодовую мощность солнечного излучения порядка  $3,41 \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2$  за световой день. Это позволяет с  $1 \text{ м}^2$  площади воздушного коллектора получить от 1,5 до 2,3  $\text{кВт} \cdot \text{ч}$  энергии в сутки.

Полученные результаты можно использовать при прогнозировании теплообменных процессов, совершенствование технологии и оборудования для сушки фруктов в гелиосушарке, для повышения технологической и энергетической эффективности процесса.

**Ключевые слова:** солнечная энергия, гелиосушарка фруктов, конвективное сушение, зеркальный концентратор, тепловой аккумулятор.

## EXPERIMENTAL RESEARCH OF CONVECTIVE FRUIT DRYING IN A SOLAR DRYER

Boyarchuk V., Korobka S., Babych M., Krygul R.

### Summary

A design of solar dryer for fruit drying is proposed, which includes the use of a flat mirror concentrator – to enhance the slanting flows of morning and evening solar radiation, and a thermal battery based on pebble for the accumulation during night time of excess heat from the reserve source of energy. This makes it possible to maintain a stable mode of drying the fruits over 24 hours and to increase the efficiency of drying process by 20 % under conditions of private peasant farms.

In particular, it was determined that to ensure the solar dryer productivity of 1.085...1.87 kg/h of dry products, its parameters should be as follows: area of the receiving surface of air collector  $1.5 \text{ м}^2$ , mass of the thermal battery 50 kg, area of the flat mirror concentrator  $1.5 \text{ м}^2$ , inside volume of the drying chamber  $0,5 \text{ м}^3$ .

We have explored the use of solar energy for fruit drying at the latitude of the location of Rivne oblast, Ukraine, which has the average annual solar radiation power of the order of  $3.41 \text{ kW} \cdot \text{h} / \text{m}^2$  per daylight. This makes it possible to receive from 1.5 to 2.3  $\text{kW} \cdot \text{h}$  of energy per day from the air collector area of  $1 \text{ м}^2$ .

It was established that the heat productivity of air collector  $Q=117...480 \text{ W}$  is significantly affected by energy illuminance  $E^{\text{max}}$ , enhanced by a mirror concentrator, which in the morning period (from  $7^{\text{00}}$  to  $10^{\text{00}}$ ) is from 456 to  $965 \text{ W} / \text{m}^2$  and in the evening period (from  $17^{\text{00}}$  to  $20^{\text{00}}$ ) is from 734 to  $223 \text{ W} / \text{m}^2$ , and the application of thermal battery makes it possible to increase the energy efficiency of solar dryer ( $\eta=53 \%$ ) that allows obtaining maximum current thermal power of the solar dryer ( $Q_{\text{sd}}=117...1429.3 \text{ W}$ ).

The obtained results may be used when predicting the heat and mass exchange processes, for improvement of technology and equipment for fruit drying in the solar dryer, for increasing technological and energy efficiency of the process.

**Key words:** solar energy, solar fruit dryer, convective drying, mirror concentrator, thermal battery.



УДК 663.916.7

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-23

**ВИВЧЕННЯ МІЦНОСТІ ГЕЛІВ ПРИ ДОДАВАННІ ГЛІЦЕРИНУ**Боковець С.П.<sup>1</sup>, асп.

ORCID: 0000-0003-0466-2426

Перцевой Ф.В.<sup>1</sup>, д.т.н.

ORCID: 0000-0002-3111-5017

Мельник О.Ю.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-9201-7955

Гурський П.В.<sup>2</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-7887-4231

<sup>1</sup>Сумський національний аграрний університет<sup>2</sup>Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка

e-mail: sergiy\_bokovec@ukr.net

*Постановка проблеми.* Харчова промисловість - одна з найбільших галузей господарства нашої країни. Важливим завданням для закладів ресторанного господарства та харчової промисловості України є впровадження конкурентоспроможних, інноваційних технологій та розширення асортименту продукції, у тому числі і кондитерської. Вона покликана задовольняти потреби населення в різноманітних продовольчих товарах. Кондитерська промисловість - одна з провідних галузей харчової промисловості. За обсягом виробництва вона стоїть на другому місці в світі, оскільки забезпечує випуск близько двох тисяч найменувань кондитерських виробів. Вони містять переважно вуглеводи, тому зважаючи на умови життя людей та дітей (нераціональне харчування, екологія, стрес) харчування потрібно раціоналізувати, використовуючи сировину багату поживними та біологічно-активними речовинами. В останні роки у споживачів істотно збільшився інтерес до харчових продуктів, що містять корисні для здоров'я людини нутрієнти та які характеризуються високою харчовою та біологічною цінністю [1-5].

З урахуванням сучасних тенденцій нами запропоновано модель інноваційної технології батончиків шоколадних з використанням меду та порошку кунжутного для використання їх в кондитерській галузі та ресторанному господарстві. Серед широкого асортименту кондитерських виробів, шоколадні батончики займають особливе місце, вони популярні, смачні, та часто використовуються, як перекус [6]. Оскільки споживач особливу увагу звертає на органолептичні властивості продукту, перед нами стала задача отримання виробу з відповідними органолептичними властивостями та необхідними структурно-механічними властивостями начинки. У технології



запропонованого виробу в якості начинки буде використовуватись сумісне поєднання меду та порошку кунжутного, а також розчин агару з додаванням гліцерину, для отримання належних структурно-механічних показників корпусу. Використання агару в технологічному процесі виробництва корпусу з гелеподібною структурою потребує наукового обґрунтування, оскільки за взаємодії з гліцерином агар, за певних умов, здатен регулювати та надавати продукції заданих структурно-механічних характеристик [7-9].

Гелеутворювачі, які додають у харчові продукти та які утворюють необхідні структурно-механічні властивості продукту є агар, фуцеллан, каппа-карагінан, желатин. Проаналізувавши їх дію ми полягаємо, що для корпусу нашого продукту доцільно використовувати систему агар-гліцерин-вода, яка дозволить розробити корпус з необхідними структурно-механічними властивостями. Таким чином встановлено, що першочерговим завданням є визначення структурно-механічних властивостей, зокрема міцності, системи «агар-гліцерин-вода», а також науково обґрунтувати вибір даної системи в порівнянні з іншими гелеподібними системами [10].

У ході аналітичного огляду виявлено, що дослідження, які стосуються визначення структурно-механічних властивостей гелеподібних систем, у літературі мають розрізнений характер. Це обумовлює актуальність обраного напрямку.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідженням полісахаридів займались багато вітчизняних та зарубіжних учених [2-4,7-12]. Агар використовується в харчовій промисловості під час виробництва джему, конфітурів, фруктових та овочевих консервів, жувальної гумки, морозива, згущеного молока, майонезу, хлібобулочних виробів (для уповільнення черствіння), м'ясних та рибних консервів, продуктів діабетичного харчування, а також в кондитерській промисловості під час виробництва зефіру, пастили, мармеладу, глазури, начинки, суфле тощо.

У ході огляду зарубіжних та вітчизняних літературних джерел встановлено, що питанням вивчення міцності гелів агару та інших полісахаридів, а також впливу на них інших допоміжних речовин приділено багато уваги.

Ученими [7] були проведені реологічні дослідження агарових гідрогелів для створення оболонки м'ясних капсул. Об'єктами досліджень були зразки агарових гелів з різними допоміжними речовинами: гліцерином, сорбітом, лимонною кислотою, цитратом натрію, хлоридом натрію в різних концентраціях. В результаті обробки експериментальних даних було встановлено, що серед контролюючих факторів важливу ступінь впливу на в'язкість гелю мають добавки, які впливають на його міцність: вміст цитрату натрію (42,4 %,  $p < 0,03$ ) та



лимонної кислоти (18,2 %,  $p < 0,02$ ). При цьому взаємодія цих же факторів також мала істотний вплив на в'язкість гелю. Внесення до складу гелю пластифікуючих добавок – гліцерину та сорбіту – не мало істотного впливу на в'язкість гелю ( $p < 0,03$ ).

У статті [8] досліджено реологічні властивості водних розчинів агару, желатину та їх суміші для желейних виробів. Експериментально було визначено величини напруги зсуву, ефективну динамічну в'язкість цих систем в діапазоні швидкості зсуву  $17-1021 \text{ с}^{-1}$  та інтервалі температур  $24-50 \text{ }^\circ\text{C}$ . При температурі  $42 \text{ }^\circ\text{C}$  спостерігається слабка залежність в'язкості від швидкості зсуву. При переході із системи «вода - агар» до системи «вода-агар-желатин» в'язкість зменшується, що свідчить про факт «розрідження» системи «вода - агар» при додаванні до неї желатину. Для системи «вода-желатин» відзначено зменшення в'язкості з підвищенням температури.

Метою авторів статті [9] було дослідження впливу технологічних чинників на міцність гелів капа-карагіану. В ході досліджень була встановлена залежність міцності гелів капа-карагіану від концентрації. Було виявлено, що зміна концентрації капа-карагіану у межах  $0,3...1,0 \%$  призводить до значної зміни міцності утворених гелів: міцність збільшується з  $34,5 \pm 0,5 \text{ г}$  до  $454,0 \pm 0,5 \text{ г}$ . Також було встановлено залежність гелів капа-карагіану від вмісту знежиреного молока за концентрації капа-карагіану. Введення знежиреного молока до  $5 \%$  у систему, що містить  $0,4 \%$  капа-карагіану, сприяє збільшенню міцності гелів з  $44,5 \pm 0,5 \text{ г}$  до  $191,5 \pm 0,5 \text{ г}$ , а подальше збільшення вмісту знежиреного молока до  $10 \%$  призводить до зменшення міцності гелів. Залежність міцності гелів капа-карагіану з концентрацією  $0,6 \%$  та вмісту знежиреного молока  $2,5 \%$ , сприяє збільшенню міцності гелів. За концентрації капа-карагіану  $0,8 \%$  залежність міцності гелів не залежить від вмісту знежиреного молока.

Група учених [10] дослідила вплив агару на реологічні характеристики паст закусочних. Експериментальними дослідженнями реологічних показників сирної пасти було встановлено, що діапазон вмісту агару  $1,3 \pm 0,1 \%$  в рецептурі є раціональним для забезпечення пастоподібної структури. Збільшення вмісту агару спричиняє значному зниженню пластичності, підвищенню еластичності та зростанню пружності, що призводить до гумистої текстури продукту. Зменшення агару в рецептурі спричиняє суттєве зменшення модуля пружності та призводить до збільшення текучості структури продукту.

Авторами статті [11] було вивчено міцність структури змішаних гелів на основі агару з анфельції та грацилярії. Встановлено характерну залежність збільшення міцності гелів агару при додаванні желатину від  $1$  до  $5 \%$  у  $1,18...3,56$  разів – для агару з анфельції та  $1,45...3,05$  – для агару з грацилярії. Додаткове внесення  $0,1 \%$  хлористого кальцію



дозволяє збільшити міцність зазначених зразків у 1,23...4,30 та 1,70...3,93 рази відповідно.

У роботі [12] досліджено реологічні властивості агарових гелів та вплив на них дисахаридів (сахароза) та моносахаридів (фруктоза). Встановлено, що сахароза та фруктоза дещо послаблюють структуру агарового гелю, проте його міцність залишається достатньо великою, що дозволяє використовувати їх при виробництві багатьох видів кондитерських виробів, що мають гелеподібну структуру.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є вивчення міцності гелів при додаванні різного вмісту гліцерину, для встановлення діапазону концентрацій структуроутворювача та зв'язуючого компоненту в рецептурі.

*Основна частина.* Особливість технологічного аспекту використання полісахаридів (агару, желатину, фуцелларану, карагінану) у харчових продуктах, базується на їхній здатності надавати продуктам необхідних структурно-механічних властивостей.

У дослідженнях були використані агар 1200 ТМ "Fujian Province" (Китай), фуцелларан ТМ Stagar (Естонія), желатин ТМ «Gelita» (Німеччина), каппа-карагінан, гліцерин ТМ BASF (Німеччина), для приготування розчинів використовували дистильовану воду.

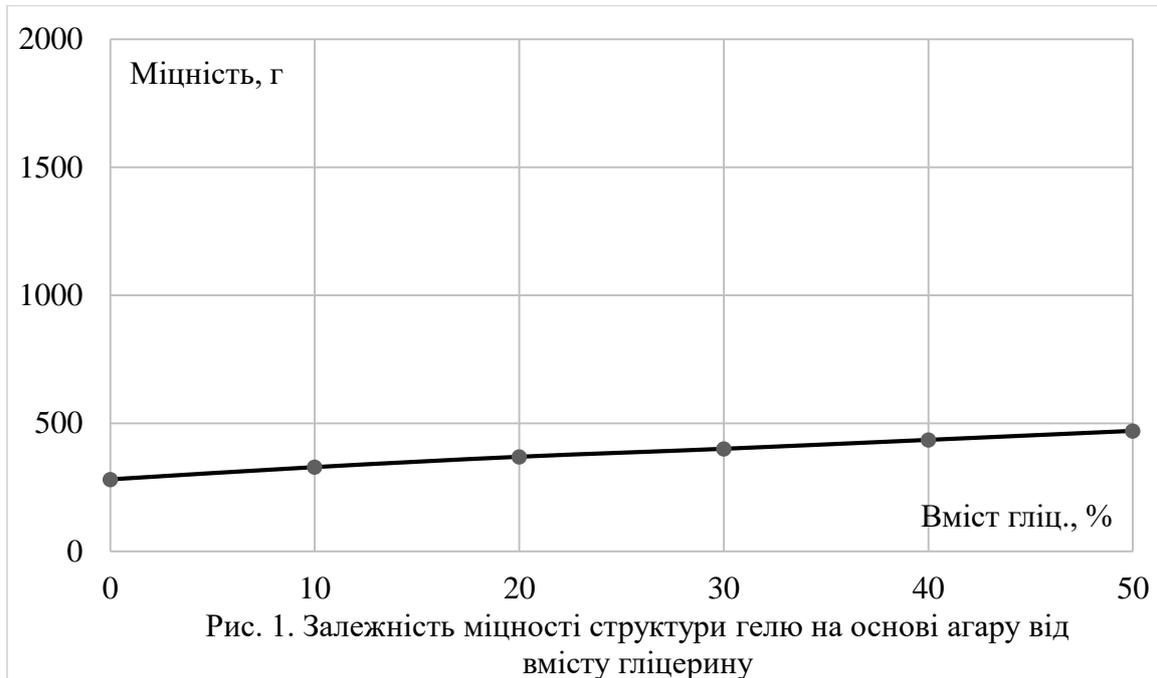
Експериментально були досліджені модельні системи «агар 1,0 %-вода», «фуцелларан 1,5 %-вода», «желатин 4,0 %-вода» та «каппа-карагінан 1,5 %-вода» при додаванні в ці системи гліцерину від 10,0 % до 50,0 %.

Систему «агар 1,0 %- вода» з додаванням гліцерину готували наступним чином. Наважку сухого компоненту всипали у воду за температури  $20 \pm 2$  °С, перемішували, після чого вносили гліцерин в інтервалі 10,0...50,0 % з кроком в 10,0 % та залишали для набухання протягом 30-40×60 с. Далі на водяній бані нагрівали даний розчин при температурі 85-95 °С до повного розчинення агару. Після цього систему розливали у 3 бюкси та залишали при температурі  $20 \pm 2$  °С у межах 300×60 с до утворення гелю.

Системи «фуцелларан 1,5 %-вода», «желатин 4,0 %-вода» та «каппа-карагінан 1,5 %-вода» готували за принципом наведеним вище. Сухий компонент всипали у воду за температури  $20 \pm 2$  °С, перемішували, вносили гліцерин та залишали для набухання протягом 30-40×60 с. Далі розчин нагрівали за температури від 50 °С до 95 °С до повного розчинення відповідного сухого компоненту. Після цього відповідний розчин розливали у бюкси та залишали при температурі  $20 \pm 2$  °С у межах 300×60 с до утворення гелю.

Дослідження міцності гелів визначали на приладі Валента після структуроутворення розчинів протягом 300×60 с за температури  $20 \pm 2$  °С.

На рис. 1 наведено залежність міцності структури гелю на основі агару від вмісту гліцерину.



Як видно з рис. 1, при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі агару збільшується від  $280,7\pm 2,0$  до  $470,2\pm 2,0$  г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 1,0 % агару, без внесення гліцерину, становить  $280,7\pm 2,0$  г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, її міцність збільшується з  $280,7\pm 2,0$  до  $328,6\pm 2,0$  г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з  $280,7\pm 2,0$  до  $369,0\pm 2,0$  г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 % призводить до збільшення міцності гелю на  $400,2\pm 2,0$  г,  $435,0\pm 2,0$  г та  $470,2\pm 2,0$  г відповідно.

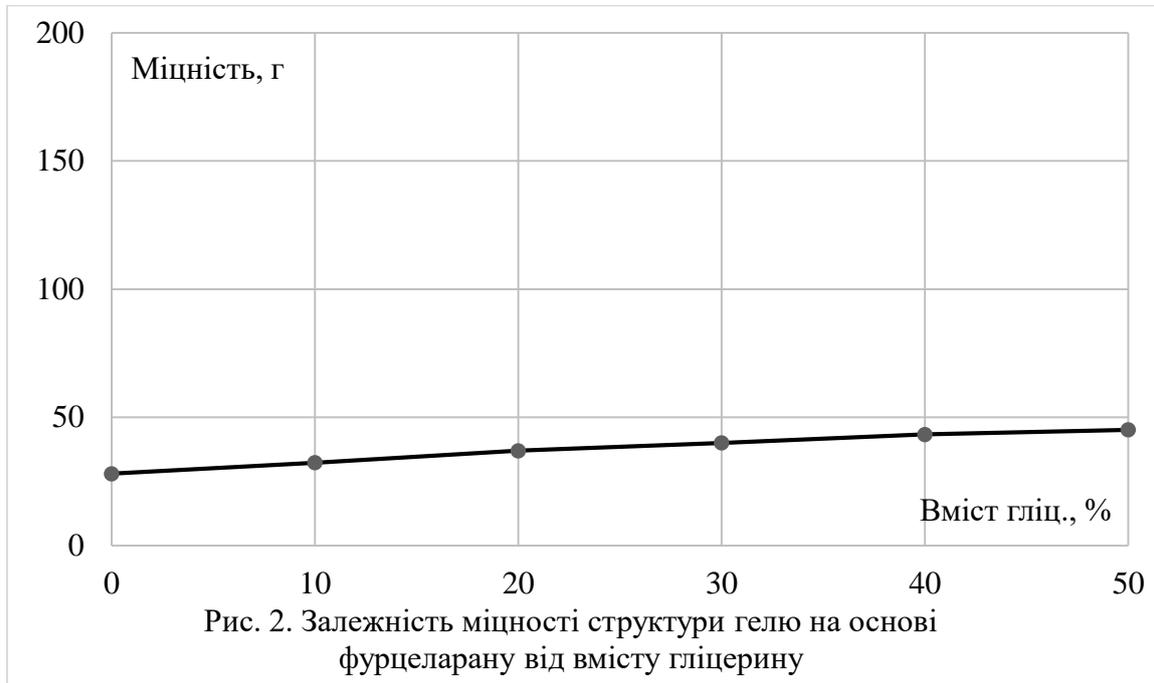
Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 1,0 % агару, позитивно впливає на структуру готового гелю, адже значно збільшує його міцність.

На рис. 2 наведено залежність міцності структури гелю на основі фуруцеллану від вмісту гліцерину.

На кривій рис. 2 показано збільшення міцності гелю на основі фуруцеллану від  $28,0\pm 2,0$  до  $32,3\pm 2,0$  г, при додаванні гліцерину в інтервалі 10,0...50,0 % з кроком в 10,0 %. Встановлено, що міцність системи, яка містить 1,5 % фуруцеллану, без внесення гліцерину, становить  $28,0\pm 2,0$  г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, міцність гелю збільшується з  $28,0\pm 2,0$  до  $32,3\pm 2,0$  г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з  $28,0\pm 2,0$  до  $37\pm 2,0$  г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 %

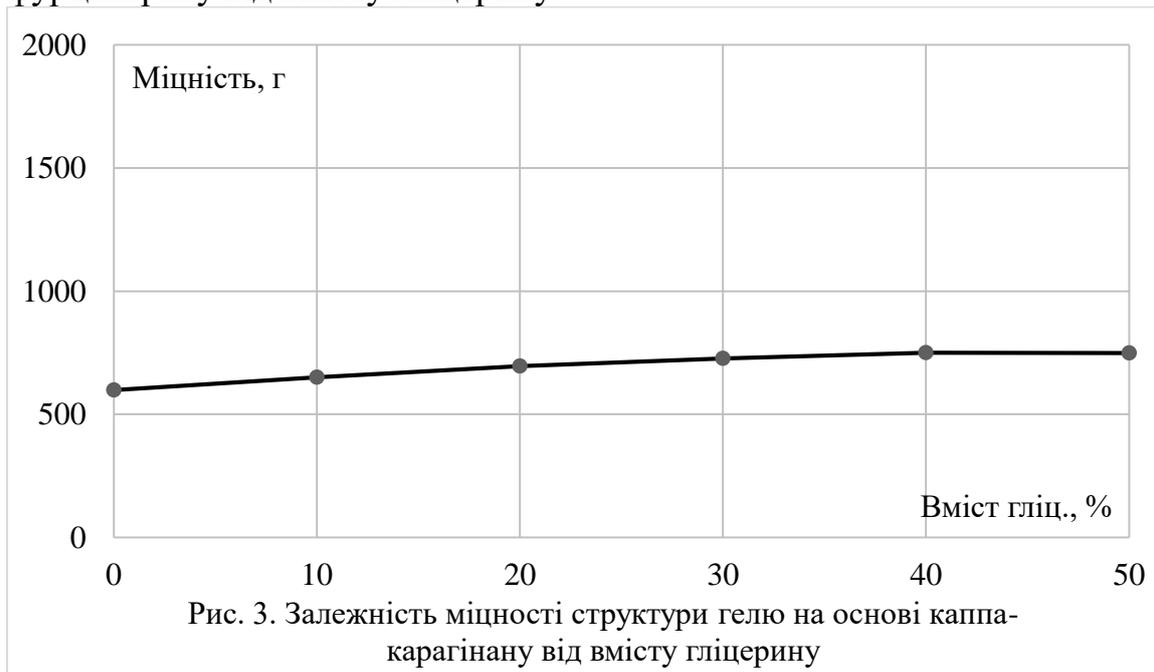


призводить до збільшення міцності гелю на  $40,0 \pm 2,0$  г,  $43,3 \pm 2,0$  г та  $45,1 \pm 2,0$  г відповідно.



Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 1,5 % фуруцелларану призводить до збільшення міцності гелю, проте у порівнянні з системою на основі агару, вона характеризується досить низькою міцністю структури гелю.

На рис. 3 наведено залежність міцності структури гелю на основі фуруцелларану від вмісту гліцерину.



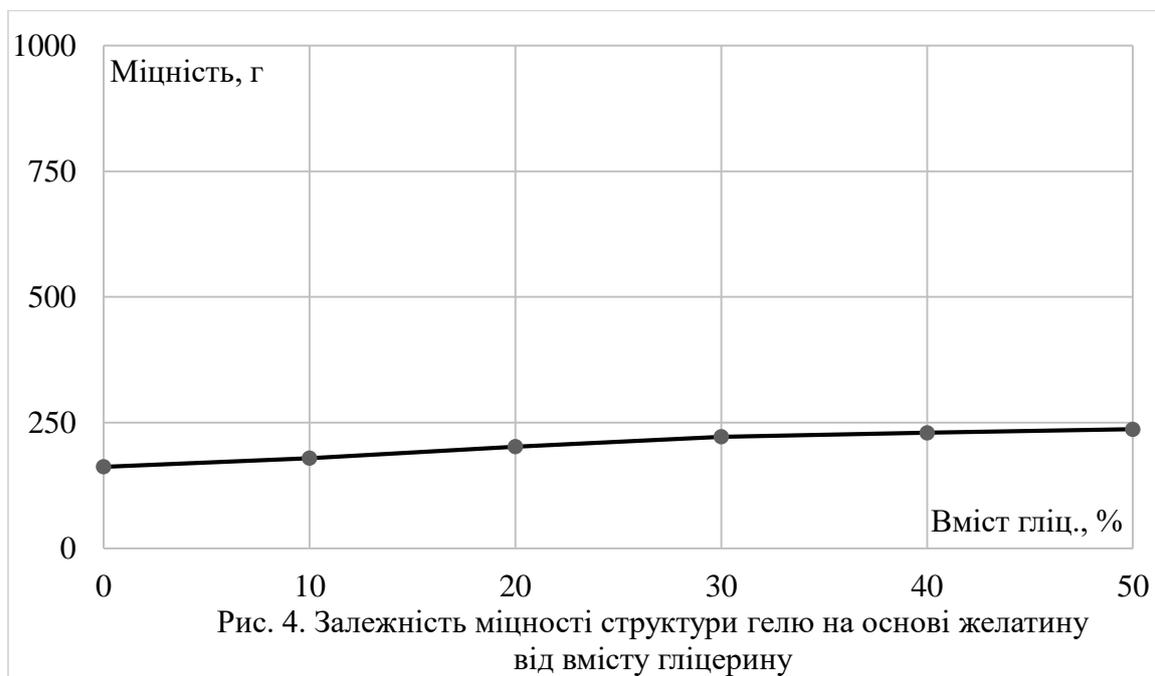




На рис. 3 видно, що при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі каппа-карагінану збільшується від  $598,2 \pm 2,0$  до  $748,6 \pm 2,0$  г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 1,5 % каппа-карагінану, без внесення гліцерину, становить  $598,2 \pm 2,0$  г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, міцність гелю збільшується з  $598,2 \pm 2,0$  до  $650,5 \pm 2,0$  г. При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з  $598,2 \pm 2,0$  до  $695,4 \pm 2,0$  г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0 та 40,0 % призводить до збільшення міцності гелю на  $727,0 \pm 2,0$  г та  $750,1 \pm 2,0$  г відповідно. Додавання 50,0 % гліцерину у систему призводить до зменшення міцності гелю до  $548,6 \pm 2,0$  г. Ймовірно, що при додаванні такої кількості гліцерину, деякі частинки сухого компонента – каппа-карагінану не набухають, і в результаті під час нагрівання системи, повністю не розчиняються, тому міцність гелю зменшується.

Таким чином можна стверджувати, що при додаванні до 40,0 % гліцерину у систему, яка містить 1,5 % каппа-карагінану, міцність гелю збільшується та залишається високою. Збільшення кількості гліцерину до 50,0 % призводить до зниження міцності системи і є недоцільним.

На рис. 4 наведено залежність міцності структури гелю на основі желатину від вмісту гліцерину.



Як видно з рис. 4, при збільшенні вмісту гліцерину, міцність гелю на основі желатину збільшується від  $162,2 \pm 2,0$  до  $237,0 \pm 2,0$  г. Досліджено, що міцність системи, яка містить 4,0 % желатину, без внесення гліцерину, становить  $162,2 \pm 2,0$  г. При додаванні до системи 10,0 % гліцерину, її міцність збільшується з  $162,2 \pm 2,0$  до  $179,4 \pm 2,0$  г.



При збільшенні вмісту гліцерину до 20,0 %, міцність гелю збільшується з  $162,2 \pm 2,0$  до  $202,1 \pm 2,0$  г. Подальше внесення гліцерину в кількості 30,0, 40,0 та 50,0 % призводить до збільшення міцності гелю на  $222,0 \pm 2,0$  г,  $229,8 \pm 2,0$  г та  $237,0 \pm 2,0$  г відповідно.

Таким чином можна стверджувати, що внесення гліцерину у систему, яка містить 4,0 % желатину, позитивно впливає на структуру готового гелю, адже міцність його збільшується. Проте у порівнянні з системами на основі агару та каппа-карагіану, дана система характеризується нижчою міцністю структури гелю.

*Висновки.* Досліджено залежність міцності структури гелів на основі агару, фуцелларану, каппа-карагіану та желатину від вмісту гліцерину, який вносили у систему структуроутворювач-гліцерин-вода.

В результаті експериментального дослідження встановлено, що при додаванні гліцерину в інтервалі 10,0...50,0 % у модельні системи на основі агару, фуцелларану та желатину, збільшується міцність структури гелю. Внесення гліцерину у систему на основі каппа-карагіану є доцільним в інтервалі 10,0...40,0 %. Додавання понад 40,0 % гліцерину призводить до зниження міцності гелю. Також встановлено, що система на основі фуцелларану характеризується значно меншими показниками міцності гелю в порівнянні зі зразками на основі агару, каппа-карагіану та желатину.

Отримані результати мають практичне значення для розрахунку та встановлення діапазону концентрацій структуроутворювача та зв'язуючого компоненту в рецептурі у процесі виробництва батончиків шоколадних на основі, досліджених в роботі, гелеутворювачів.

У подальшому для розроблення технологічного процесу виробництва батончиків шоколадних необхідно провести дослідження температури плавлення гелів на основі агару з додаванням гліцерину.

#### Список використаних джерел

1. Реакція на кризу: 6 тенденцій в споживанні продуктів харчування в Україні. URL: <https://koloro.ua/ua/blog/issledovaniya/6-tendenciya-v-potreblenii-productov-pitaniya-v-ukraini.html> (дата звернення: 12.10.2020).
2. Agar gel strength: A correlation study between chemical composition and rheological properties / M. Bertasa et al. *European Polymer Journal*. 2020. Vol 123. DOI:10.1016/j.eurpolymj.2019.109442.
3. Effects of Agar Gel Strength and Fat on Oral Breakdown, Volatile Release, and Sensory Perception Using in Vivo and in Vitro Systems / D. Frank et al. *Appelqvist Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015. Vol. 63 (41). P. 9093-9102. DOI: 10.1021/acs.jafc.5b03441.
4. Formation and structural properties of acid-induced casein-agar double networks: Role of gelation sequence / J. Sun et al. *Food*



*Hydrocolloids*. 2018. Vol. 85. P. 291-298.  
DOI:10.1016/j.foodhyd.2018.07.030.

5. Yarnpakdee S., Benjakul S., Kingwascharapong P. Physico-chemical and gel properties of agar from *Gracilaria tenuistipitata* from the lake of Songkhla, Thailand. *Food Hydrocolloids*. 2015. Vol. 51. P. 217-226. DOI:10.1016/j.foodhyd.2015.05.004.

6. Skliar A. 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.

7. Реологические исследования агаровых гидрогелей для создания оболочки мягких капсул / Д. В. Демченко и др. *Химико-фармацевтический журнал*. 2013. Т. 47, № 10. С. 40-42.

8. Реологические свойства водных растворов агара, желатина и их смеси для жележных изделий / С. М. Губский и др. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Сер. Хімія*. Харків, 2018. Вип. 31. С. 64-78.

9. Горальчук А. Б., Трощій Т. В., Сабашош Г. О. Дослідження впливу технологічних чинників на міцність гелів капа-карагінану. *Оборудование и технологии пищевых производств*. 2012. № 29 (1). С. 264.

10. Гурський П. В., Бідюк Д. О., Перцевої Ф. В. Дослідження впливу агару на реологічні характеристики паст закусочних. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*. Харків: ХДУХТ, 2009. Вип. 2 (10). С. 63-69.

11. Овсяннікова Л. Г., Перцевої Ф. В., Бідюк Д. О. Вивчення міцності змішаних гелів на основі агару. *Інноваційні технології розвитку у сфері харчових виробництв, готельно-ресторанного бізнесу, економіки та підприємництва: наукові пошуки молоді: тези Всеукр. наук.- практич. конф. молодих учених і студентів (7 квітня 2016 р.): [тези у 2-х ч.]*. Харків: ХДУХТ, 2016. Ч. 1. С. 34.

12. Дорохович А. Н., Мурзин А. В. Реологические свойства агарового геля и влияние на них дисахаридов (сахароза) и моносахаридов (фруктоза). *Современные проблемы техносферы и подготовки инженерных кадров: сборник трудов VIII Международной научно-методической конференции в городе Хаммамет (28 сент.-05 окт. 2014 г.)*. Донецк, 2014. С. 109-112.



## ВИВЧЕННЯ МІЦНОСТІ ГЕЛІВ ПРИ ДОДАВАННІ ГЛІЦЕРИНУ

Боковець С.П., Перцевой Ф.В., Мельник О.Ю. Гурський П.В.

### *Анотація*

Стаття присвячена вивченню міцності гелів на основі агару, фуруцелларану, каппа-карагінану та желатину при додаванні гліцерину для встановлення діапазону концентрацій структуроутворювача та зв'язуючого компонента в рецептурі корпусу для батончиків шоколадних.

Експериментально досліджено, за допомогою приладу Валента, міцність модельних систем «агар 1,0 %- гліцерин-вода», «фуруцелларан 1,5 %-гліцерин-вода», «каппа-карагінан 1,5 %-гліцерин-вода» та «желатин 4,0 %-гліцерин-вода». Гліцерин вносили у модельні системи в інтервалі 10,0...50,0 % з кроком в 10,0 %.

Науково обґрунтовано вплив гліцерину на міцність гелеподібних систем на основі агару, фуруцелларану, каппа-карагінану та желатину.

Також встановлено, що система на основі фуруцелларану характеризується значно меншими показниками міцності гелю в порівнянні зі зразками на основі агару, каппа-карагінану та желатину.

**Ключові слова:** міцність гелю, агар, фуруцелларан, каппа-карагінан, желатин, гліцерин, модельні системи, міцність системи, структурно-механічні властивості.

## ИЗУЧЕНИЯ ПРОЧНОСТИ ГЕЛЕЙ ПРИ ДОБАВЛЕНИИ ГЛИЦЕРИНА

Боковец С.П., Перцевой Ф.В., Мельник О.Ю., Гурский П.В.

### *Аннотация*

Статья посвящена изучению прочности гелей на основе агара, фуруцеллараном, каппа-карагинана и желатина при добавлении глицерина для установления диапазона концентраций структурообразователя и связующего компонента в рецептуре корпуса для батончиков шоколадных.

Экспериментально исследованы с помощью прибора Валента, прочность модельных систем «агар 1,0% - глицерин-вода», «фуруцелларан 1,5% -глицерин-вода», «каппа-карагинан 1,5% -глицерин-вода» и «желатин 4,0% -глицерин-вода». Глицерин вносили в модельные системы в интервале 10,0 ... 50,0% с шагом в 10,0%.

Научно обосновано влияние глицерина на прочность гелеобразных систем на основе агара, фуруцеллараном, каппа-карагинана и желатина.

Также установлено, что система на основе фуруцеллараном характеризуется значительно меньшими показателями прочности геля по сравнению с образцами на основе агара, каппа-карагинана и желатина.

**Ключевые слова:** прочность геля, агар, фуруцелларан, каппа-карагинан, желатин, глицерин, модельные системы, прочность системы, структурно-механические свойства.

## STUDY OF THE STRENGTH OF GELES WITH THE ADDITION OF GLYCERIN

Bokovets S.P., Pertsevoi F.V., Melnyk O.Y.

### *Summary*

The article is devoted to the study of the strength of gels based on agar, furcellaran, kappa-carrageenan and gelatin with the addition of glycerin to determine the range of concentrations of the structurant and binder component in the formulation of the body for chocolate bars.



The peculiarity of the technological aspect of the use of polysaccharides (agar, gelatin, furcellaran, carrageenan) in food products is based on their ability to give products the necessary structural and mechanical properties. They are used in the food industry in the production of jam, confiture, canned fruits and vegetables, chewing gum, ice cream, condensed milk, mayonnaise, bakery products (to slow down hardening), canned meat and fish, diabetic foods, as well as in the confectionery industry. time of production of marshmallows, pastilles, marmalade, glazes, fillings, souffles, etc.

The strength of the model systems "agar 1.0% - glycerin-water", "furcellaran 1.5% -glycerin-water", "kappa-carrageenan 1.5% -glycerin-water" and " gelatin 4.0% - glycerin-water ". Glycerin was added to the model systems in the range of 10.0... 50.0% in increments of 10.0%.

The effect of glycerin on the strength of gel-like systems based on agar, furcellaran, kappa-carrageenan and gelatin has been scientifically substantiated. An increase in the strength of the gel structure was found when glycerin was added in the range of 10.0... 50.0% to model systems based on agar, furcellaran and gelatin. The introduction of glycerin into the system based on kappa-carrageenan is appropriate in the range of 10.0... 40.0%. The addition of more than 40.0% glycerol reduces the strength of the gel.

It was also found that the system based on furcellaran is characterized by significantly lower gel strength compared to samples based on agar, kappa-carrageenan and gelatin.

**Key words:** gel strength, agar, furcellaran, kappa-carrageenan, gelatin, glycerin, model systems, system strength, structural and mechanical properties.



УДК 620.9

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-24

## РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДОМАШНЬОГО СТАЦІОНАРНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА

Сілі І. І.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID 0000-0002-6603-2174

Азархов О. Ю.<sup>1</sup>, д. мед.н., к.т.н.

ORCID 0000-0003-2085-4786

Бухлал Н. А.<sup>1</sup>, ст. викладач

ORCID 0000-0002-0361-9584

Петров В. О.<sup>2</sup>, к.т.н.

ORCID 0000-0002-6399-9064

<sup>1</sup> ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»<sup>2</sup> Таврійський державний агротехнологічний університет імені  
Дмитра Моторного

e-mail: sili\_i\_i@pstu.edu

*Постановка проблеми.* Вітер - це одна з найдоступніших форм серед поновлюваних джерел енергії. Напрямок потоків вітру мінливий і повністю залежить від рельєфу земної поверхні, присутності водойм, рослинності. Людина спочатку навчилася перетворювати енергію руху повітряних мас в механічну, а згодом і в електричну енергію. В даний час в усьому світі спостерігається підвищений інтерес до використання в різних галузях економіки нетрадиційних відновлюваних джерел енергії. Ведеться бурхлива дискусія про вибір шляхів розвитку енергетики. Це пов'язано перш за все зі зростаючою необхідністю охорони навколишнього середовища і виснаженням корисних копалин природних ресурсів, а також з необхідністю підвищення енергоефективності промислових і побутових комплексів [1].

Сучасна вітроенергетика має ряд проблем, які негативно впливають на підвищення ефективності енергозбереження. Найбільш актуальні з них такі відповідно до Soraida Vargas в [2]:

- забезпечення тривалого функціонування вітроелектричних агрегатів;
- забезпечення ефективного використання енергії вітру;
- стабілізація частоти електроенергії, яку виробляють вітроустановки.

У цій статті пропонується розглянути розробку нового, ефективного, домашнього вітрогенератора на базі аеродинамічної труби Ранка-Хілша з використанням елементів Пельтьє та двох типів завихрувачів.

*Аналіз останніх досліджень і публікацій.* Перед початком етапу розробки нового вітрогенератора, нами було проаналізовано ряд питань, серед яких:



- аналіз конструкцій існуючих вітрогенераторів;
- вибір і обґрунтування конструкції вітрогенератора для створення автономної системи електропостачання;
- аналіз існуючих систем стабілізації частоти обертання валу електрогенератора;
- аналіз застосовуваних електрогенераторів і обґрунтування їх вибору.

Вітрогенератори підрозділяються по розташуванню осі обертання на конструкції з вертикальною віссю (перпендикулярно землі) і горизонтальною віссю (паралельно землі).

Найбільшу популярність в промислових масштабах при створенні вітроелектростанцій отримали механізми з горизонтальною віссю обертання (горизонтальні вітрогенератори), вісь обертання турбіни яких розташована паралельно землі. Цей тип отримав назву «вітряка», лопаті якої обертаються проти вітру. Конструкція горизонтальних вітрогенераторів передбачає автоматичний поворот головної частини (в пошуках вітру), а також поворот лопатей для використання вітру невеликої сили. Механізми з вертикальною віссю наділені рядом суттєвих особливостей перед вітрогенераторами з горизонтальною віссю як зазначає в своїй роботі Cédric Philibert [3]. Відсутність вузлів під орієнтування на вітровий потік помітно зменшує все гідроскопічне навантаження. Через особливості своєї будови при абсолютно будь-якому напрямку вітру конструкція розташовується в абсолютно довільному положенні, через що вона простіша в своєму виконанні. У подібних механізмах виникнення обертання створюють підйомна сила лопатей, а також сили опору.

Як стверджує Valentin Voisea в [4] до переваг вітрогенераторів з вертикальною віссю слід віднести:

- відсутність напрямних потоку повітря;
- низькі витрати на ремонт зважаючи на малу кількість рухомих деталей;
- конструктивно даний ротор може розташовуватися нижче аналогічного горизонтального, через що відсутня необхідність в спеціальних підйомних механізмах і підйому персоналу на висоту;
- на високу ефективність ротора не впливають ні кут, ні швидкість напрямку потоку вітру.

Потужність і ККД вітрогенератора залежать не тільки від його конструктивних параметрів, а й від вітрового навантаження. На рис. 1 представлена карта вітрового навантаження України, згідно якої більша частина Приазов'я (південь Запорізької та Донецької області) знаходиться в найбільшому – п'ятому районі, з показником у 600 Па [5]. Використання даного вітрового потенціалу є пріоритетом з точки

розвитку даного регіону, а домашні стаціонарні вітрогенератори в перспективі можуть стати джерелом автономного енергозабезпечення невеликих фермерських господарств та приватних будинків.

Для більшості регіонів України характерні умови слабких і помірних вітрів (рис. 1), що призводить до необхідності застосування додаткового обладнання - редуктора. Він дозволяє збільшувати швидкість обертання валу генератора за рахунок падіння потужності на валу пропорційно передавальному числу. Дослідження редукторів для вітрогенераторів було проведено Ronald Barazarte в Universidad Tecnológica de Panamá результатом якого стало, що редуктори, які розрізняються за типом використовуваної передачі, володіють одним загальним недоліком - низькою надійністю [6].

Застосування безредукторних вертикальних вітряних електроустановок дозволяють підвищити надійність, знизити шум і вібрацію, збільшити термін експлуатації. Єдиним недоліком залишається висока вартість існуючих установок як стверджено в [7].

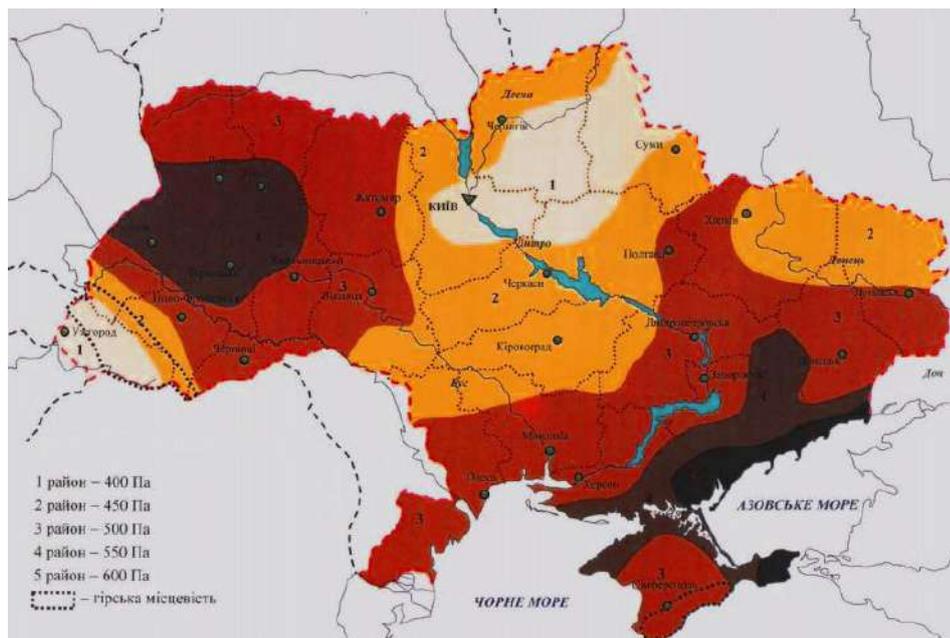


Рис. 1. Карта вітрового навантаження України

Відомий спосіб перетворення енергії і вихрова труба Грицкевича для його здійснення [8], яка може бути використана для виробництва як теплової, так і електричної енергії, за рахунок перетворення енергії рухомого потоку рідини в вихровій трубі, яка містить електромагнітні обмотки, трубчастий корпус з теплою частиною, що включає циклон у вигляді равлика з інжекційним патрубком і діафрагмою. Гаряча частина труби містить випускний патрубок, регулювальний конус з пристроєм осевого регулювання і пари електродів, рівномірно





розподілених по колу між корпусом і конусом. Недоліком цього пристрою є складність конструкції за рахунок наявності електромагнітних обмоток низький коефіцієнт корисної дії.

Елементи Пельтьє сьогодні знаходять все більше застосування, так в [9] представлено осушувач повітря на базі елемента Пельтьє та ардуіно. В даному приладі використовується алюмінієва пластина розміром  $36 \text{ см}^2$  і товщиною близько  $0,5 \text{ мм}$ , термоелектричний елемент Пельтьє, плата Arduino UNO, провідники-перемички, транзистори TIP122 та резистори опором  $1 \text{ кОм}$ . У рамках первинних результатів було отримано процес конденсації водних крапель на алюмінієвій пластині, а сам процес виявився постійним та контрольованим. Прототипу системи для осушення повітря має на меті зменшити вологість повітря у приміщенні, в першу чергу медичних закладів охорони здоров'я (за допомогою конденсації). В нашій розробці пропонуємо також використати термоелектричні елементи Пельтьє, але в якості джерела електричної енергії.

*Формулювання цілей статті.* Виходячи з аналізу останніх досліджень та взявши за основу існуючі моделі вітрових генераторів, запропонувати споживачам використання саме вертикальних безредукторних вітрогенераторів в умовах Півдня України з гарними показниками вітрового потенціалу. Одним з таких є розроблений нами генератор, який представлений в даній роботі.

*Виклад основного матеріалу.* В основу нашої розробки поставлена задача удосконалити існуючі види вітрогенераторів на базі вихрової труби шляхом встановлення додаткових конструктивних елементів та виконання її у вигляді вертикальної гіперболічної труби Ранка-Хілша, що дає можливість підвищити ККД пристрою та величину генерації електричної енергії.

Поставлена задача вирішується тим, що стаціонарний вертикальний вітрогенератор містить раму, яка виконана у вигляді гіперболічної труби Ранка-Хілша, згідно запропонованої моделі, встановлено направляючу шайбу у нижній частині труби, два типи завихрувачів, що задають протилежні напрямки потоку вітру в трубі, елементи Пельтьє і витяжну шайбу. Блок-схема процесу роботи та генерації електричної енергії представлена на рис. 2.

Застосування запропонованої конструкції за рахунок відмови від використання електромагнітних обмоток, дозволяє спростити конструкцію. Застосування двох типів завихрувачів для вітрогенератора запропонованої конструкції, дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії та величину генерації електричної енергії, за рахунок розділу потоків повітря з різними напрямками обертання.

Стаціонарний вертикальний вітрогенератор містить витяжну шайбу 1, елементи Пельтьє 2, гіперболічну трубу 3 у вигляді труби

Ранка-Хілша, направляючих шайб 4, двох типів завихрувачів за годинниковою стрілкою 5 та проти годинникової стрілки 6.



Рис. 2. Блок-схема процесу генерації електричної енергії розробленого вітрогенератора

На розроблену модель стаціонарного вертикального вітрогенератора був отриманий патент на корисну модель [10].

Пристрій використовують наступним чином (рис. 3). Стаціонарний вертикальний вітрогенератор монтується на спеціальному майданчику, де закріплюють трубу генератора 3 у вертикальному положенні. Потоки повітря потрапляють у завихрувачі 5 і 6, якими задається напрямок обертання потоків повітря всередині труби 3.

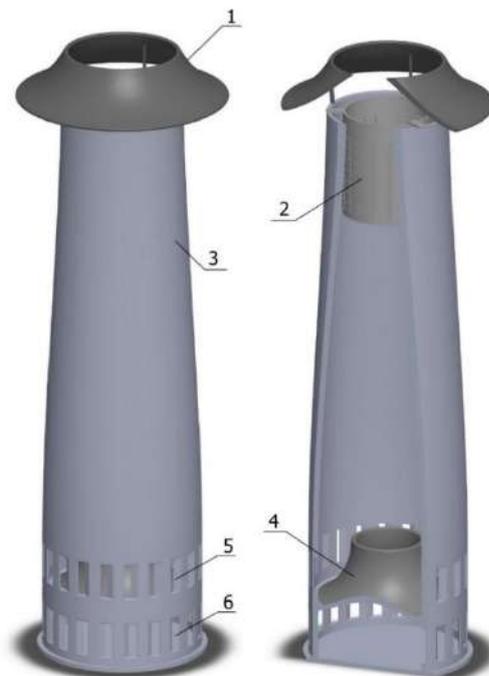


Рис. 3. 3Д модель розробленого стаціонарного вертикального вітрогенератора

Відомий вихровий ефект або ефект Ранка-Хілша відповідно до якого, при проходженні потоку газу по плавно звужуючій поверхні



труби у її зовнішньої стінки утворюється область підвищеної температури газу, а у внутрішній - область зниженої температури. У вітрогенераторі холодне повітря, за рахунок вихрового ефекту та направляючої шайби 4, буде формуватися у центральній частині, а гаряче витиснеться на периферію - до стінок труби.

На кінці труби встановлені елементи Пельт'є 2, які обтікаються холодним повітрям з одного боку, та гарячим з іншого. В результаті на вихідних клеммах елемента Пельт'є виникає різниця потенціалів певної величини. Електроенергія, яка при цьому генерується, направляється до електромережі. Витяжна шайба 1 полегшує вихід повітря з труби 3.

*Висновки.* В роботі проаналізовано існуючі методи та пристрої генерації електричної енергії з вітру з вертикальною віссю. Також підкреслено, що більша частина Приазов'я знаходиться в найкращому регіоні з точки зору вітрового потенціалу України, і тому доцільно розвивати вітроенергетику саме на півдні Запорізької та Донецької області, а в перспективі – автономні домашні вітрогенератори. Визначено, що механізми з вертикальною віссю наділені рядом суттєвих особливостей перед вітрогенераторами з горизонтальною віссю, і можуть бути використанні для генерації в домашніх умовах з більшим ККД. В основу представленої розробки була поставлена задача удосконалити існуючі види вітрогенераторів на базі вихрової труби шляхом встановлення додаткових конструктивних елементів та виконання її у вигляді вертикальної гіперболічної труби Ранка-Хілша, що дає можливість підвищити ККД пристрою та величину генерації електричної енергії. Використання елементів Пельт'є дозволило генерувати електричну енергію лише базуючись на різниці двох закручених потоків повітря всередині труби. На розроблену модель стаціонарного вертикального вітрогенератору був отриманий патент на корисну модель.

#### Список використаних джерел

1. Nazir, M. S., Mahdi, A. J., Bilal, M., Sohail, H. M., Ali, N., Iqbal, H. M. Environmental impact and pollution-related challenges of renewable wind energy paradigm—A review. *Science of the Total Environment*. 2019. p. 436-444. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.05.274.

2. Vargas, S. A., Esteves, G. R. T., Maçaira, P. M., Bastos, B. Q., Oliveira, F. L. C., & Souza, R. C. Wind power generation: A review and a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, Vol. 218. 2019. p. 850-870. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.015>.

3. Philibert C. Three reasons why renewable energy is so important to the power industry. 2015. URL: <https://www.gepowerconversion.com/inspire/three-reasons-why-renewable-energy-so-important-power-industry>. (Accessed 3 December 2020).



4. Voicea V. A. Energy storage technologies: The past and the present. *Proceedings of the IEEE*. 2014. 102.11: p. 1777-1794.

5. Навантаження і впливи. Норми проектування. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. ДБН В.1.2-2:2006. Чинний від 1 січня 2007 р. Київ : Управління технічного регулювання в будівництві, 2007. 75 с. (Національний стандарт України).

6. Barazarte, R. Y., Gonzalez, G., Hall, E. Comparison of electrical generators used for wind power generation. *IEEE Latin America Transactions*. Vol. 9(7). 2011. p.1040-1044.4.

7. Fontanella, A., Taruffi, F., Muggiasca, S., Belloli, M. Design methodology for a floating offshore wind turbine large-scale outdoor prototype. In *International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vol. 58899. June 2019. p. V010T09A058. <https://doi.org/10.1115/OMAЕ2019-95979>.

8. Способ преобразования энергии и вихревая труба Грицкевича для его осуществления; пат. RU2245497C2 Россия; заявл. 21.02.2001; опубл. 10.02.2003, Бюл. №3, 7 с.

9. Сілі І. І., Азархов О.Ю., Волошин В. С.осушувач повітря на базі елемента Пельтьє та Ардуіно. *Медична інформатика та інженерія*, 2020. Вип. (2). с. 90-95. <https://doi.org/10.11603/mie.1996-1960.2020.2.11180>.

10. Стационарный вертикальный ветрогенератор / патент України на корисну модель № 139807. МПК F03D 5/00; № u201906121; заявл. 03.06.2019; Опубл. 27.01.2020, Бюл. № 2 -5 с. Сілі І.І., Лисенко О.В., Петров В.О., Коваль Д.М.

**РОЗРОБКА МОДЕЛІ ДОМАШНЬОГО СТАЦІОНАРНОГО  
ВЕРТИКАЛЬНОГО ВІТРОГЕНЕРАТОРА  
Сілі І.І., Азархов О.Ю., Бухлал Н.А., Петров В.О.**

*Анотація.*

У цій статті розглянуто розробку нового, ефективного, домашнього вітрогенератора на базі аеродинамічної труби Ранка-Хілша з використанням елементів Пельтьє та двох типів завихрувачів. Сучасна вітроенергетика має ряд проблем, які негативно впливають на підвищення ефективності енергозбереження. Безредукторні вітрогенератори з вертикальною віссю мають ряд переваг та в перспективі можуть стати джерелом автономного енергозабезпечення невеликих фермерських господарств та приватних будинків у Приазов'ї України. В основу нашої розробки поставлена задача удосконалити існуючі види вітрогенераторів на базі вихрової труби шляхом встановлення додаткових конструктивних елементів та виконання її у вигляді вертикальної гіперболічної труби Ранка-Хілша, що дає можливість підвищити ККД пристрою та величину генерації електричної енергії.

**Ключові слова:** вихрова труба Ранка-Хілша, ефект Ранка, елементи Пельтьє, завихрувачі, вітрогенератор, потоки повітря.



## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДОМАШНЕГО СТАЦИОНАРНОГО ВЕРТИКАЛЬНОГО ВЕТРОГЕНЕРАТОРА

Сили И.И., Азархов А.Ю., Бухлал Н.А., Петров В.А.

### *Аннотация*

В этой статье рассмотрено разработку нового, эффективного, домашнего ветрогенератора на базе аэродинамической трубы Ранка-Хилша с использованием элементов Пельтье и двух типов завихрителей. Современная ветроэнергетика имеет ряд проблем, которые негативно влияют на повышение эффективности энергосбережения. Безредукторные ветрогенераторы с вертикальной осью имеют ряд преимуществ и в перспективе могут стать источником автономного энергообеспечения небольших фермерских хозяйств и частных домов в Приазовье Украины. В основу нашей разработки поставлена задача усовершенствовать существующие виды ветрогенераторов на базе вихревой трубы путем установки дополнительных конструктивных элементов и выполнение ее в виде вертикальной гиперболической трубы Ранка-Хилша, что дает возможность повысить КПД устройства и величину генерации электрической энергии.

**Ключевые слова:** вихревая труба Ранка-Хилша, эффект Ранка, элементы Пельтье, завихрители, ветрогенератор, потоки воздуха.

## HOME STATIONARY VERTICAL WIND GENERATOR PROTOTYPE

Sili I.I., Azarkhov A.Yu., Bukhlal N.A., Petrov V.A.

### *Summary*

This article discusses the development of a new, efficient, home wind turbine based on the Ranque-Hilsch wind tunnel, using Peltier elements and two types of swirlers. Wind is one of the most affordable forms of renewable energy. The direction of wind flows is changeable and completely depends on the earth's surface, the presence of water lakes, plants. Nowadays, there is an increased interest in the use of non-traditional renewable energy sources all over the world, in various sectors of the economy. Modern wind energy has a number of coins that negatively affect the improvement of energy saving efficiency. Gearless vertical-axis wind generators have a number of advantages and in the future can become a source of autonomous power supply for small farms and private houses in the Azov region of Ukraine. The absence of points for orientation to the wind flow significantly reduces the resistance. Due to the peculiarities of its structure, in absolutely any direction of the wind, the vertical structure is located in an absolutely arbitrary position, which is why it is easier in its execution. Our prototype is based on the task of improving the existing types of wind turbines based on a vortex tube by installing additional structural elements and making it in the form of a vertical hyperbolic Ranque-Hilsch tube, which makes it possible to increase the efficiency of the device and the amount of electricity generation. The problem is solved by the fact that the stationary vertical wind generator contains a base made in the form of a hyperbolic Ranque-Hilsch pipe tube, according to the proposed model, a guide washer is installed in the lower part of the pipe, two types of swirlers that set opposite directions of the wind flow in the pipe, Peltier elements and an exhaust washer. The use of Peltier elements made it possible to generate electrical energy only based on the difference between two swirling air flows inside the pipe. This design allows to increase the efficiency and the amount of generation of electrical energy, due to the difference of air flows with different directions of rotation.

**Key words:** Ranque-Hilsch vortex tube, Ranque effect, Peltier elements, swirlers, wind turbine, air flows.



УДК 62-83.004.18:631.363

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-25

## ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБІКОРМІВ

Постнікова М.В., к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2025-6199

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*e-mail: [marina.postnikova@tsatu.edu.ua](mailto:marina.postnikova@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* В зв'язку із загостренням енергетичної кризи у світі і нашій країні, що зумовлене інтенсивним вичерпанням паливно-енергетичних ресурсів, надзвичайно актуальними є проблеми енергозбереження.

Обґрунтування раціональних технологічних параметрів технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів та раціональних енергетичних параметрів дробарок, які в сукупності підвищують ефективність приготування комбікормів є актуальною науково-прикладною задачею для розвитку тваринницької галузі.

Як вважають автори: Jiang Sheng-Long, Zhang Long [1], в останні роки, коли росте занепокоєність населення в зв'язку з ростом цін на енергоносії і їх впливом на навколишнє середовище, планування енергозбереження стане ключовим питанням для сталого виробництва комбікормів. При цьому повинно бути енергетично орієнтоване планування з ефективною багатоцільовою оптимізацією технологічного процесу. Це дозволить вирішити проблему енергозбереження в реальних виробничих системах комбікормів.

А. Abdel-Hadi [2] вважає, що для вирішення питання мінімізації енергоспоживання необхідно мати максимум інформації про енергоємність технологічного процесу подрібнення зерна для того, щоб вирішити задачу енергозбереження.

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів показує, що якість обробки кормів не відповідає сучасним вимогам [3-6]. Енергоємність процесу складає 5,4-8,0 кВт·год/т, яку можна знизити шляхом оптимізації технологічного процесу. Тому підвищення енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна є актуальною проблемою.

В раніше проведених дослідженнях авторами: Л. А. Лопатиным, У. К. Сабиевым, головна увага приділялася технологічним схемам комбікормових агрегатів та інтенсифікації технологічних процесів приготування комбікормів [7, 8].



Denkena B., Bouabid A., Kroedel A. [9] пропонують новий підхід до моделювання взаємодії зерна при подрібненні. Результати для різної орієнтації зерна при подрібненні представлені на діаграмі, яка дає огляд механічних навантажень для різної орієнтації зерна при подрібненні.

Kliuchnikov A. [10] розробив новий універсальний метод ефективного сушіння подрібненого зерна для комбікормів, який дозволяє знизити енергозатрати при видаленні вологи.

Kurchuk I. M., Solona, O. V., Derevenko I. A., Tverdokhlib I. V. [11] провели наукові дослідження, які направлені на мінімізацію споживання електроенергії електроприводом дробарки кормів. Автори розробили і проаналізували математичну модель електроспоживання електропривода вібраційної дробарки кормів, провели теоретичні і експериментальні дослідження з перевірки адекватної математичної моделі.

Як вважає Gembicki J. [12], зменшення електроспоживання приводить до зменшення викидів забруднених речовин в навколишнє середовище при виробництві комбікормів.

Дослідженням впливу параметрів дробарок на процес подрібнення зерна займався В. Н. Нечаев [13], розробкою та обґрунтуванням конструктивних та режимних параметрів малогабаритної дробарки фуражного зерна А. В. Акименко [14], Куценко Ю. М. [15] приділив увагу режимам роботи дробарок.

Питаннями дослідження та оптимізації робочого процесу дробарки зерна займалися А. В. Созонтов і Л. А. Лопатин [16], які в результаті обробки експериментальних даних отримали математичні моделі залежності критеріїв оптимізації від дослідних факторів: діаметру отворів решета, кількості лопаток на крильчатці, швидкості крильчаток ротора, а питаннями зниження витрат електроенергії електромеханічних систем та оптимізації режимів роботи електрообладнання при подрібненні зерна дробаркою ДБ-5-1 займалися: М. В. Постнікова, Є.В. Михайлов, Д. М. Нестерчук, О. М. Речина [17].

Однак, досліджень енергетичної ефективності процесів подрібнення зерна для комбікормів проводилось недостатньо.

*Формулювання цілей статті.* Мета дослідження – енергозбереження в технологічному процесі подрібнення зерна. Для досягнення поставленої мети була вирішена задача: встановити основні фактори, які впливають на енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів.

*Основна частина.* Для оцінки енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів необхідно вибрати показник (параметр оптимізації). В якості параметра оптимізації можуть бути обрані: економічний показник, що характеризує



технологічний процес або робочу машину, а також продуктивність виробничого обладнання або енерговитрати та т.п. При цьому необхідно прагнути до того, щоб параметр оптимізації був один, мав ясний фізичний зміст і кількісну оцінку, а також був би сукупною та вичерпною характеристикою об'єкта дослідження. Стосовно до поставленої задачі оптимізації енергоємного технологічного процесу зернодробарки, в якості параметра оптимізації доцільно вибрати величину енерговитрат на одиницю готової продукції, що визначається за рівнянням

$$W = \frac{P_{\Sigma} \cdot K_3}{Q \cdot \eta_{\text{пер}} \cdot \lambda_{\text{п}} \cdot K_{\text{вол.}}}, \quad (1)$$

де  $W$  – питома енергоємність, кВт·год./т;

$P_{\Sigma} = P$  – сумарна номінальна потужність електродвигунів, кВт;

$K_3$  – коефіцієнт завантаження електродвигунів;

$Q$  – продуктивність за годину чистої роботи при подрібненні фуражного зерна, т/год.;

$\eta_{\text{пер}}$  – ККД клинопасових передач, в.о.;

$\lambda_{\text{п}}$  – ступінь подрібнення зерна;

$K_{\text{вол.}}$  – коефіцієнт, що враховує вологість зерна, в.о.

Відповідно до технічної характеристики дробарки ДБ-5-1: встановлена потужність електродвигунів  $P_{\Sigma} = 32,2$  кВт; продуктивність  $Q = 4 - 6$  т/год.; питома енергоємність при подрібненні зерна, кВт·год./т. Приймаємо  $W = 5,4 - 8$  кВт·год./т. Надалі приймаємо коефіцієнт корисної дії клинопасових передач  $\eta_{\text{пер}} = 0,94 - 0,96$  ( $\eta_{\text{персер}} = 0,95$ ); середню вологість зерна 14 %, тобто  $K_{\text{вол.}} = 0,86$ .

Ступінь подрібнення зерна  $\lambda_{\text{п}}$  є одним з факторів, що істотно впливає на енергоспоживання дробарки. Однак, останнім часом, на дробарках встановлюються так звані дисперсаналізатори з безперервним контролем ступеня подрібнення зерна, що входять в автоматичний регулятор завантаження дробарки. Тому в роботі приймається значення  $\lambda_{\text{п}}$  постійним і рівним  $\lambda_{\text{п}} = 1$ .

Таким чином, в якості контрольованих і керованих факторів, що визначають параметр оптимізації  $W$  приймаються: потужність  $P_{\Sigma}$ , продуктивність  $Q$  і коефіцієнт завантаження  $K_3$ .

Позначення факторів і рівні їх варіювання при використанні методу планування математичного експерименту наведені в таблиці 1. При цьому рівні варіювання факторів вибиралися з урахуванням даних





технічної характеристики та реальної можливості зміни факторів на практиці.

Нормалізація або кодування факторів проводиться за співвідношенням

$$x_i = \frac{X_i - X_{i,0}}{\Delta X_i}. \quad (2)$$

Таблиця 1

Рівні факторів та інтервали варіювання для дробарки ДБ-5-1

Рівні варіювання факторів	Фактори в нормованих одиницях	Фактори в фізичних одиницях		
		$P$ , кВт	$Q$ , т/год.	$K_3$ , в.о.
		$X_1$	$X_2$	$X_3$
Верхній $X_{i,B}$	$x_{i,B} = +1$	30,0	7,0	0,8
Нижній $X_{i,H}$	$x_{i,H} = -1$	20,0	3,0	0,4
Базовий $X_{i,0}$	$x_{i,0} = 0$	25,0	5,0	0,6
Інтервали варіювання $\Delta X_i$	$\Delta x_i = \pm 1$	5,0	2,0	0,2
Розміри зіркового плеча				
+ $\alpha$	+1,682			
- $\alpha$	-1,682			

Відповідно до (2) нормовані значення факторів на різних рівнях будуть дорівнювати

$$x_{i,0} = \frac{X_{i,0} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = 0; \quad x_{i,B} = \frac{X_{i,B} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = +1; \quad x_{i,H} = \frac{X_{i,H} - X_{i,0}}{\Delta X_i} = -1. \quad (3)$$

Згідно (1) між параметром оптимізації  $W$  та факторами  $P$ ,  $Q$  і  $K_3$  функціональна залежність нелінійна, тому область оптимуму об'єкта дослідження, якщо вона є, може бути достовірно (адекватно) описана поліномом або рівнянням регресії другого порядку виду [18]

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{i,j} \cdot x_i \cdot x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} \cdot x_{ii}^2, \quad (4)$$

де  $y$  – функція цілі або параметр оптимізації;

$b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{i,j}$ ,  $b_{ii}$  – коефіцієнти рівняння регресії;

$x_i$ ,  $x_{ij}$ ,  $x_{ii}$  – нормовані значення факторів.

Така математична модель може бути отримана на основі планів другого порядку, наприклад, ортогонального центрального композиційного плану (ОЦКП) або ротатабельного центрального



композиційного плану (РЦКП) [18]. Скористаємося РЦКП другого порядку для рішення задачі оптимізації технологічного процесу дробарки зерна по мінімуму енергоспоживання.

В ротатбельному ЦКП передбачається проведення експерименту в точках  $N_{\phi}$  повного факторного експерименту (ПФЕ) або дробового факторного експерименту (ДФЕ), в зіркових точках  $N_{\alpha}$  і точках центру плану  $N_0$ .

Число точок факторного простору та величини плеча  $\alpha$  зіркових точок при РЦКП для різного числа факторів “ $n$ ” приведені в [18].

Після визначення загального числа точок експерименту будується робоча матриця планування математичного експерименту. В [18] представлена матриця РЦКП для трьох факторів.

При перебудові вихідної математичної моделі об’єкта дослідження методом ПМЕ, замість натурних дослідів, передбачених в матриці планування експерименту, проводиться аналітичний розрахунок функції цілі  $y$  по вихідній моделі (1) для кожного рядка матриці плану з урахуванням рівнів факторів (+1; -1; 0) [18] і значень факторів у фізичних одиницях, що відповідають цим рівням. При розрахунках за рівнянням (1) в якості постійних величин приймаються  $\eta_{\text{пер}} = 0,95$ ;  $K_{\text{вол.}} = 0,86$  і  $\lambda_{\text{п}} = 1$  [18].

Далі проводиться розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{i,j}$ ,  $b_{ii}$ . При цьому варто замітити, що розрахунок коефіцієнтів регресії РЦКП відрізняється більшою складністю та передбачає розрахункове визначення ряду коефіцієнтів  $A$ ,  $C$ ,  $\lambda_4$  і ін.

З метою спрощення розрахунків коефіцієнтів рівняння регресії можна використати формули, розрахункові коефіцієнти яких були одержані за допомогою ЦОМ і наведені, наприклад, в [18].

$$b_0 = a_1 \sum_{g=1}^N y - a_2 \sum_1^n \sum_{g=1}^N x_{i,g}^2 \cdot y;$$

$$b_i = a_3 \sum_{g=1}^N x_{ig} \cdot y; \quad b_{ij} = a_4 \sum_{g=1}^N x_{ig} \cdot x_{jg} \cdot y; \quad i \neq j; \quad i, j = 1, 2, \dots, n; \quad (5)$$

$$b_{ii} = a_5 \sum_{g=1}^N x_{ig}^2 \cdot y + a_6 \sum_1^n x_{ig}^2 \cdot y - a_2 \sum_{g=1}^N y.$$

Для числа факторів  $n \leq 7$  значення коефіцієнтів  $a_1$ ,  $a_2, \dots$ ,  $a_6$  приведені в [18]. В результаті розрахунків коефіцієнтів регресії по (5) [18] з урахуванням даних в матриці плану РЦКП були отримані наступні значення коефіцієнтів



$$\begin{aligned}
 b_0 &= 3,68; & b_1 &= 0,816; & b_2 &= -1,28; & b_3 &= 1,36; \\
 b_{12} &= -0,349; & b_{13} &= 0,292; & b_{23} &= -0,583; & b_{123} &= -0,116; \\
 b_{11} &= 0,738; & b_{22} &= -0,524; & b_{33} &= 0,74.
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

Оскільки при математичному експерименті відсутня дисперсія відтворюваності функції цілі  $S_B^2\{y\}$ , необхідно для статистичної оцінки значущості коефіцієнтів і перевірки адекватності отриманої моделі об'єкта, значення  $S_B^2\{y\}$ , вводиться штучно такої величини, щоб забезпечувалася необхідна точність розрахунків. У даній роботі прийнято [18]

$$S_B^2\{y\} = (3\sigma)^2 = (3 \cdot 0,03)^2. \quad (7)$$

де  $\sigma$  – середня квадратична помилка або стандарт приймається рівною 0,03, тобто похибка розрахунків складе 3 %.

Оцінка значущості коефіцієнтів рівнянь регресії (6) визначається по  $t$ -критерію Стьюдента за умовою

$$t_{pi} = \frac{|b_i|}{S_B\{y\}} > t_T = t_k, \quad (8)$$

де  $t_{pi}$ ,  $t_T$  – розрахункове та табличне значення критерію, рівне критичному  $t_k$ ;

$|b_i|$  – абсолютне значення  $i$ -того коефіцієнта;

$S_B\{y\}$  – помилка розрахунків функції цілі.

При цьому, згідно (7)

$$S_B\{y\} = \sqrt{S_B^2\{y\}} = \sqrt{(3 \cdot 0,03)^2} = 0,09. \quad (9)$$

Табличне значення критерію Стьюдента  $t_T$  визначається по таблиці  $t$ -критерію, наведеній в [17] для рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і числу ступенів свободи  $f_0 = N \cdot (m-1) = 20$  і дорівнює  $t_T = 2,086$ .

При цьому, якщо  $t_{pi} > t_k$ , то коефіцієнти регресії  $b_i$  признаються значущими і при  $t_{pi} < t_k = t_p$  – незначущими. Незначущим виявився коефіцієнт  $b_{123}$  і тому рівняння регресії (4) прийме вид

$$\begin{aligned}
 \hat{y} &= 3,68 + 0,816x_1 - 1,28x_2 + 1,36x_3 - 0,349x_1x_2 + 0,292x_1x_3 - 0,583x_2x_3 + \\
 &\quad + 0,738x_1^2 - 0,524x_2^2 + 0,74x_3^2,
 \end{aligned}
 \quad (10)$$

де  $\hat{y}$  – розрахункове значення функції цілі або параметра оптимізації.



Для оцінки адекватності розрахункового рівняння регресії (10) необхідно зробити розрахунки по (10) значень  $\hat{y}$  для кожного рядка матриці плану [18]. Розрахункові дані  $\hat{y}$  приводяться в [18].

Зміст такої перевірки складається в необхідності переконатися в тому, що отримане рівняння регресії (10) з достатнім ступенем достовірності, тобто адекватно, описує параметр оптимізації або функції цілі об'єкта дослідження.

Адекватність рівняння регресії (10), отриманого в результаті перебудови вихідної математичної моделі об'єкта дослідження (1), перевіряється по  $F$ -критерію Фішера за умовою [18]

$$F_p = \frac{S_{ad}^2\{\hat{y}\}}{S_B^2\{y\}} < F_T = F_K, \quad (11)$$

де  $F_p, F_T$  – розрахункове та табличне значення критерію Фішера, рівне критичному  $F_K$ ;

$S_B^2\{y\}$  – дисперсія відтворюваності, визначається по (7);

$S_{ad}^2\{\hat{y}\}$  – дисперсія адекватності отриманої моделі (10).

При цьому, якщо  $F_p < F_K$  – рівняння регресії признається адекватним, при  $F_p > F_K$  – неадекватним. Дисперсія адекватності визначається за рівнянням [17]

$$S_{ad}^2\{\hat{y}\} = \frac{m}{N-d} \sum_{g=1}^N (y - \hat{y})^2, \quad (12)$$

де  $m$  – число паралельних дослідів. При математичному експерименті приймається  $m = 1$ ;

$d$  – число значущих коефіцієнтів рівняння регресії (10) з урахуванням вільного члена  $b_0$ .

Так як  $N = 20$  і  $d = 10$ , то  $N - d = 10$ .

При розрахунках по (12) значення  $y$  і  $\hat{y}$  беруться по кожному рядку матриці плану [17].

Табличне значення  $F$ -критерію Фішера визначається за таблицею критерію, наведеній в [18], для рівня значущості  $\alpha = 0,05$  і ступеня свободи адекватності та відтворюваності:  $f_{ad} = f_1 = N - d = 10$  – по горизонталі таблиці;  $f_B = f_2 = N(m - 1) = 20$  – по вертикалі таблиці.

Значення критерію при цьому дорівнює  $F_T = 2,365$ . За результатами розрахунків по (12)  $S_{ad}^2\{\hat{y}\} = 0,0175$  з урахуванням значення по (7)  $S_B^2\{y\} = 0,0081$  умову (11) можна записати у вигляді

$$F_p = \frac{0,0175}{0,0081} = 2,16 < F_T = 2,365. \quad (13)$$



Отже, розрахункове рівняння параметра оптимізації (10) є адекватним.

За допомогою рівняння (10) і даних таблиці 1 можна також одержати рівняння прийнятого параметра оптимізації  $W$  в функції факторів у фізичних одиницях

$$W = 16,2 - 1,313P_1 + 2,42Q - 15,41K_3 - 0,035P_1Q + 0,29P_1K_3 - 1,46QK_3 + 0,0295P_1^2 - 0,13Q^2 + 18,5K_3^2. \quad (14)$$

Одержані рівняння дають можливість вирішувати задачі енергозбереження в технологічному процесі молоткової дробарки зерна і розробити норми електроспоживання технологічних процесів подрібнення зерна [19].

*Висновки.* Встановлені основні фактори, які впливають на енергоефективність технологічного процесу подрібнення зерна: встановлена потужність електродвигунів, продуктивність дробарки, коефіцієнт завантаження електродвигунів, які знаходяться в межах:  $P = 20-30$  кВт,  $Q = 3-7$  т/год.,  $K_3 = 0,4-0,8$ .

Вперше розроблена методологія перебудови складної математичної моделі об'єкта дослідження методом планування математичного експерименту, що дозволило отримати рівняння регресії для визначення питомих витрат електроенергії в залежності від факторів. Точність розрахунків складає 3 %.

Проведені дослідження мають практичне значення, так як є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу подрібнення зерна для комбікормів. Це дозволить економити 8-10 % електроенергії [20].

Список використаних джерел

1. 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.

2. Study of energy saving analysis for different industries / A. Abdel-Hadi [et al.]. *Journal of Energy Resources Technology, Transactions of the ASME*. 2021. 143 (5). DOI: 10.1115 / 1.4048249.

3. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*. 2017. P. 155–158.

4. ДСТУ 3768:2019. Пшениця. Технічні умови. [Чинний від 2019-06-10]. Київ: УкрНДНЦ, 2019. 19 с.

5. ДСТУ 8066:2015. Корми для сільськогосподарських тварин. Методи визначення енергоємності і поживності. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 15 с.



6. ДСТУ 8011:2015. Кормовиробництво. Терміни та визначення понять. [Чинний від 2017-01-01]. Київ : УкрНДНЦ, 2018. 28 с.

7. Лопатин Л. А. Малогабаритные комбикормовые агрегаты и их конструктивно-технологические схемы. *Основные направления развития техники и технологии в АПК: материалы и доклады VII Всероссийской науч.-практ. конф.* Княгино: НГИЭУ, 2016. С. 273-276.

8. Сабиев У. К. Интенсификация технологических процессов приготовления комбикормов в условиях сельскохозяйственных предприятий: *автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.20.01.* Барнаул, 2012. 43 с.

9. Denkena B., Bouabid A., Kroedel A. Single grain grinding: a novel approach to model the interactions at the grain/bond interface during grinding. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology.* 2020. Vol. 107, № 11-12. P. 4811-4822. DOI: 10.1007/s00170-020-05219-8.

10. Kliuchnikov A. Development of new method of drying at energy-saving universal dryer to improve quality of crops used in fodder production. *18th International Scientific Conference Engineering for Rural Development.* 2019. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N125.

10. 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. 113-120.

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. Нечаев В. Н. Влияние некоторых параметров на рабочий процесс дробилок зерна. *Вестник НГИЭИ.* 2015. №6 (49). С. 67-73.

13. Акименко А. В. Разработка и обоснование конструктивных и режимных параметров малогабаритной дробилки фуражного зерна: *автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01.* Воронеж, 2011. 19 с.

14. Куценко Ю. М. Вибір та обґрунтування роботи молоткової дробарки А1-ДМ2Р-55. *Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України.* Харків : ХНТУСГ, 2014. Вип. 153. С. 98-100.

15. Созонтов А. В., Лопатин Л. А. Исследование и оптимизация рабочего процесса дробилки зерна ударного действия. *Вестник НГИЭИ.* 2018. № 6 (85). С. 27-36.

16. 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.



17. Назарьян Г. Н., Постникова М. В., Карпова А. П. Решение задач оптимизации объектов исследования методом планирования математического эксперимента. Мелитополь : Люкс, 2012. 68 с.

18. Постнікова М. В. Розробка науково-обґрунтованих норм енергоємності при обробці зерна на зернопунктах. *Вісник Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут". Тематичний збірник наукових праць «Проблеми автоматизованого електроприводу. Теорія і практика»*. Харків, 2008. № 30. С. 511-512.

19. Постникова М. В., 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.

### **ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ПОДРІБНЕННЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБІКОРМІВ**

**Постнікова М.В.**

#### *Анотація*

У статті досліджувався технологічний процес подрібнення зерна для комбікормів молотковою дробаркою ДБ-5-1. При дослідженні вперше встановлені основні фактори, які впливають на величину питомих витрат електроенергії при подрібненні зерна для комбікормів, які є найбільш інформативним показником енергоефективності технологічного процесу подрібнення зерна.

Вперше розроблений теоретичний метод перебудови математичної моделі молоткової дробарки, який оснований на використанні математичного апарату і методики класичної теорії планування експерименту.

Теоретичні розрахунки підтвердили адекватність математичної моделі і ефективність використання методу багатофакторного математичного експерименту. Дослідження мають теоретичне і практичне значення і є основою для розробки науково-обґрунтованих норм електроспоживання технологічного процесу подрібнення зерна.

**Ключові слова:** електропривод, економія електроенергії, енергоємність, багатофакторний експеримент, оптимізація питомих витрат електроенергії.

### **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕРНА ДЛЯ КОМБИКОРМОВ**

**Постникова М.В.**

#### *Аннотация*

В статье исследовался технологический процесс измельчения зерна для комбикормов молотковой дробилкой ДБ-5-1. При исследовании впервые установлены основные факторы, влияющие на величину удельных затрат электроэнергии при измельчении зерна для комбикормов, которые являются наиболее информативным показателем энергоэффективности технологического процесса измельчения зерна.



Впервые разработан теоретический метод перестройки математической модели молотковой дробилки, основанный на использовании математического аппарата и методики классической теории планирования эксперимента.

Теоретические расчеты подтвердили адекватность математической модели и эффективность использования метода многофакторного математического эксперимента. Исследования имеют как теоретическое, так и практическое значение, и являются основой для разработки научно-обоснованных норм электропотребления технологического процесса измельчения зерна.

**Ключевые слова:** электропривод, экономия электроэнергии, энергоемкость, многофакторный эксперимент, оптимизация удельных расходов электроэнергии.

## **ENERGY EFFICIENCY OF TECHNOLOGICAL PROCESS OF GRINDING GRAIN FOR COMPOUND FEED**

**M. Postnikova**

### *Summary*

With the increase in energy tariffs, measures to improve the energy efficiency of agricultural facilities is becoming a priority for many owners of livestock farms.

The economic situation in Ukraine is becoming a real stimulus for the introduction of modern technologies aimed at reducing the use of energy resources by agricultural enterprises.

Substantiation of rational technological parameters of the technological process of grain grinding for compound feeds and rational energy parameters of crushers, which together increase the efficiency of compound feed preparation is an urgent scientific and applied task for the development of the livestock industry.

The technological process of grain grinding for compound feeds with the hammer crusher DB-5-1 was investigated. The study identified the main factors that affect the amount of specific electricity consumption during grain grinding for feed, which is the most informative indicator of energy efficiency of the technological process of grain grinding.

The influence of the main factors on the technological process was first established by means of a multifactor mathematical experiment.

For the first time a theoretical method of reconstruction of the mathematical model of the hammer crusher was developed, which is based on the use of the mathematical apparatus and methods of the classical theory of experimental planning. This allowed us to obtain a regression equation to determine the specific consumption of electricity depending on the factors.

Theoretical calculations confirmed the adequacy of the mathematical model and the effectiveness of the method of multifactor mathematical experiment. The accuracy of calculations is 3 %. Research has theoretical and practical significance, as it is the basis for the development of scientifically sound standards of electricity consumption of the technological process of grain grinding.

**Key words:** electric drive, energy saving, energy consumption, multifactor experiment, optimization of specific electricity consumption.





УДК 632.315

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-26

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ХВОРОБ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ

Попрядухін В. С., к.т.н.

ORCID: 0000-0001-9845-6177

Попова І. О., к.т.н.,

ORCID: 0000-0001-5429-8269

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

*e-mail: vadym.popriadukhin@tsatu.edu.ua*

*Постановка проблеми.* Кризовий стан в тваринництві України характеризується спадом виробництва молока і м'яса, в тому разі і за рахунок безпліддя маткового поголів'я корів. Основними післяпологовими хворобами у корів є акушерсько-гінекологічні хвороби, серед яких основне місце займає патологія гонад (яєчників). Терапевтична ефективність використання лікувальних засобів для лікування хвороб і розладів функцій гонад корів доволі низька, оскільки при призначенні лікувальних заходів не враховується складний багатокомпонентний комплекс в регуляції статевої функції і динаміка утримання гормональних рецепторів і чутливості відповідних компонентних структур. Крім того, антибіотики ті інші медикаменти, якщо потрапляють у організмі людини через молоко і м'ясо корів, пригнічують імунітет, вражають печінку та інші органи, що призводить до різних хвороб. Тобто немедикоментозне лікування гонад у корів за допомогою інформаційного електромагнітного поля (ЕМП) та розробка систем випромінювання є актуальною задачею [1].

*Аналіз останніх досліджень.* Аналіз досліджень з дії інформаційних ЕМП на біологічні об'єкти, що проводяться: в Московському центрі інформаційної медицини під керівництвом Бессонова А. Є.; в ІРЕ РАН під керівництвом Н. Д. Девяткова; у Харківському НТУСГ під керівництвом О. Черенкова, М. Лисиченка, Ю. Мегеля, Н. Косуліної; у Новосибірському інституті під керівництвом Козначеева О. П., показують, що найбільший терапевтичний ефект у ветеринарії і медицині слід чекати від інформаційних ЕМВ мм діапазону. Електромагнітні коливання здатні викликати конформаційні перебудови клітинних структур, впливати на проникність біологічних мембран і служити інформаційним сигналом для регуляторних систем усього біологічного об'єкта.

Основним елементом конструкції випромінюючої системи є випромінювач, який повинен сформувати необхідну діаграму спрямованості і забезпечити достатній рівень потужності на поверхні гонад у корів для ефективного лікування [2].

На сьогоднішній день в міліметровому діапазоні довжин хвиль широко застосовуються різні типи антен: рупорні, дзеркальні, діелектричні, фазовані антенні решітки, антени поверхневих хвиль [3]. Якщо враховувати, що основна частота, на якій відбувається випромінювання, складає 73,2 ГГц і умови, в яких цей випромінювач буде застосовуватися, то природно слід вибрати порожнистий діелектричний хвилевід, узгодженого з пірамідальним рупорним випромінювачем і діелектричною лінзою на виході хвилеводу. Для визначення параметри випромінюючої системи необхідно провести аналітичне дослідження [4].

*Формулювання мети статті.* Аналітичне обґрунтування параметрів і діаграми направленості рупоро-хвилеводної системи для лікування гонад корів.

*Основна частина.* Основним елементом конструкції антени є випромінювач, який повинен сформувати необхідну діаграму спрямованості (ДС) і забезпечити достатній рівень потужності на поверхні яєчників корів на частоті 73,2 ГГц [5].

Випромінююча система з обтічником має пірамідальний рупор, який переходить у прямокутний хвилевід чотирьох міліметрового діапазону. Вся конструкція розташовується в діелектричній трубі з вініласту. Для центрування в трубі хвилеводних елементів використовуються пінопластові вставки. Такого типу випромінювачі забезпечують аксіально-симетричну та вузьку ДС.

При проведенні всіх розрахунків будемо вважати, що в випромінюючому розкритті поширюється тільки одна хвиля (в нашому випадку  $TE_{10}$ ) (рисунок 1). Результати будуть тим точніше, чим більше розмір розкриття в порівнянні з довжиною хвилі  $\lambda$  [6].

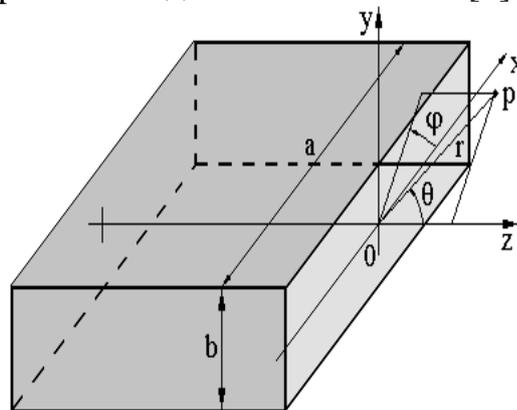


Рис. 1. Система координат в розкритті прямокутного хвилеводу



У декартовій системі координат розподіл електричної компоненти хвилі, що розповсюджується по хвилеводу, має вигляд

$$E = e_x E_x + e_y E_y + e_z E_z \dots \quad (1)$$

За аналогією з виразом (1) запишемо електричну компоненту хвилі в сферичній системі координат

$$E = e_r E_r + e_\varphi E_\varphi + e_\theta E_\theta \quad (2)$$

Розглядаємо прямокутний хвилевод, в якому поширюється хвиля TE<sub>10</sub>, що має тільки поперечну складову електричного поля ( $E_x = H_y = E_z = 0$ ). З урахуванням рівності нулю деяких компонент електричного і магнітного полів хвилі TE<sub>10</sub> в хвилеводі можемо записати

$$\begin{cases} E_x = -E_\varphi \sin \varphi + E_\theta \cos \varphi \cos \theta; \\ E_y = E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta; \\ E_z = -E_\theta \sin \theta. \end{cases} \quad (3)$$

Після підстановки значень складових електричного поля з (3) у співвідношення (1) отримаємо рівняння

$$E = e_x (E_\theta \cos \varphi \cos \theta - E_\varphi \sin \varphi) + e_y (E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta) - e_z E_\theta \sin \theta \quad (4)$$

У сферичній системі координат складові електричного поля  $E_\theta$  та  $E_\varphi$  у розкритті прямокутного хвилеводу перерізом  $axb$  визначається рівняннями

$$E_\theta = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \sin \varphi \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta}, \quad (5)$$

$$E_\varphi = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \sin \varphi \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta}, \quad (6)$$

де  $B$  – амплітудний коефіцієнт;

$Z_0 = 120\pi$  – хвильовий опір вільного простору;

$\alpha = (\pi a / \lambda) \sin \theta \cos \varphi$ ,  $\beta = (\pi b / \lambda) \sin \theta \sin \varphi$ ;

$\lambda_g = \lambda / \sqrt{1 - (\lambda / 2a)^2}$  – хвильова довжина хвилі.

Після підстановки значень  $E_\theta$  та  $E_\varphi$  у вираз (3), отримали рівняння для складових електричного поля у наступному вигляді [7].

$$E_x = E_\theta \cos \varphi \cos \theta - E_\varphi \sin \varphi = -F \frac{\lambda}{\lambda_g} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta, \quad (7)$$

$$\text{де } F = BZ_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \frac{\cos \alpha}{\alpha^2 - \frac{\pi^2}{4}} \frac{\sin \beta}{\beta} \quad (8)$$



Аналогічним чином з рівнянь (3) з урахуванням (5) запишемо вирази для  $E_x$  і  $E_y$  складових електричного поля, що визначається співвідношенням (4)

$$E_y = E_\varphi \cos \varphi + E_\theta \sin \varphi \cos \theta =$$

$$= F \left[ \cos^2 \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) + \sin^2 \varphi \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right] \quad (9)$$

$$E_z = -E_\theta \sin \theta = -F \sin \varphi \sin \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \quad (10)$$

Після підстановки виразів для складових електричного поля (10), (9), (7) в вираз (4) отримаємо рівняння для електричної компоненти основної хвилі прямокутного хвилеводу [8].

$$\mathbf{E} = \mathbf{e}_x \left( -F \frac{\lambda}{\lambda_g} \sin \varphi \cos \varphi \sin^2 \theta \right) + \mathbf{e}_y F \left[ \cos^2 \varphi \left( \cos \theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right) + \right.$$

$$\left. + \sin^2 \varphi \cos \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right] + \mathbf{e}_z \left[ -F \sin \varphi \sin \theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \theta \right) \right]. \quad (11)$$

В результаті перетворень були отримані вирази для визначення ДС в площинах Н та Е основної хвилі  $TE_{10}$  відкритого кінця прямокутного хвилеводу

$$\mathbf{E}_{x0z} = \mathbf{e}_y B Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \cdot \frac{\cos \left[ \left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \Theta \right) \right]}{\left[ \left( \frac{\pi a}{\lambda} \sin \Theta \right)^2 - \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 \right]} \cdot \left( \cos \Theta + \frac{\lambda}{\lambda_g} \right), \quad (12)$$

$$\mathbf{E}_{y0z} = \mathbf{e}_y B Z_0 \frac{a^2 b}{\lambda^2} \cdot \frac{4}{\pi^2} \cdot \frac{\sin \left[ \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \Theta \right) \right]}{\left[ \left( \frac{\pi b}{\lambda} \sin \Theta \right)^2 - \left( \frac{\pi}{2} \right)^2 \right]} \cdot \left[ \cos \Theta \left( 1 + \frac{\lambda}{\lambda_g} \cos \Theta \right) \right]. \quad (13)$$

Результати розрахунку (12), (13) показали, що за рівнем -15 дБ ширина головки пелюстки діаграми спрямованості в обох площинах складає 24,8 мм для розмірів прямокутного розкриття 20,5x14,31 мм. В цьому випадку 80 % випромінюваної потужності буде зосереджено в трубі діаметром 30 мм [9].

З урахуванням розмірів прямокутного розкриття та розмірами хвилеводу 3,6x1,8 мм, довжина пірамідального рупору 35 мм. У зв'язку з внутрішньоутробним лікуванням тварин, розкрив діелектричного хвилеводу випромінювача електромагнітної енергії було закрито



діелектричною лінзою з параметрами: діаметр 26,4 мм; товщина 4,6 мм; фокусна відстань 50 мм [10].

*Висновки.* Визначені параметри головних пелюстків ДС прямокутного розкриву, розмірів прямокутного розкриття, розмірів хвилеводу, діаметр, товщина і фокусна відстань діелектричної лінзи дозволяють розробити пристрій для опромінення гонад корів.

Список використаних джерел

1. Думанский А. В., Торчук М. В., Михайлова Л. Н. Использование микроволнового излучения в технологических процессах лечения животных и людей. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2013. Вип. 141. С. 89-91.

2. Михайлова Л. Н. Применение электромагнитного поля крайневысокой частоты для лечения животных. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Т. 1, № 9 (55). С. 36-38.

3. Думанский А. В., Михайлова Л. Н. Аналитический анализ антенной системы для лечения эндометрита животных. *Вестник Национального технического университета "ХПИ"*. Серия. Новые решения в современных технологиях. 2013. № 70. С. 69-74.

4. Theoretical Analysis of Electromagnetic Field Electric Tension Distribution in the Seeds of Cereals. Research journal of Pharmaceutical / I. S.Konstantinov et al. *Biological and Chemical Sciences*. 2015. № 6 (6). pp. 1686-1694.

5. Analysis of the electromagnetic field of multilayered biological objects for their irradiation in a waveguide system / V. Popriadukhin et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 6 (50)(90). pp. 58-65. doi: [10.15587/1729-4061.2017.96074](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96074).

6. Синтез радіометричних приймачів за критерієм статистичної інваріантності до флуктуацій посилення і вузькосмугової перешкоди / Т. Д. Гуцол та ін. *Technology audit and production reserves*. 2018. № 1/1 (39). pp. 42-48. doi: [10.15587/2312-8372.2018.123737](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2018.123737).

7. Determining parameters of electromagnetic radiation for energoinformational disinfection of wool in its pretreatment / N. Kosulina et al. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. № 2 (5)(86). pp. 52-58. doi: [10.15587/1729-4061.2017.96074](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.96074).

8. Feng B., Wang Z. Effect of an electromagnetic field on the spectra and elliptic flow of particles. *Physical Review*. 2017. Vol. 95, Iss. 5. doi: [10.1103/physrev.95.054912](https://doi.org/10.1103/physrev.95.054912).

9. Kovacic P., Somanathan R. Electromagnetic fields: mechanism, cell signaling, other bioprocesses, toxicity, radicals, antioxidants and beneficial effects. *Journal of Receptors and Signal Transduction*. 2010. Vol. 30 (4). 214-226. doi: [10.3109/10799893.2010.488650](https://doi.org/10.3109/10799893.2010.488650)



10. Pirotti Ye. L., Kaplun O. V. Mathematical models of electromagnetic fields in the middle of the cylindrical and spherical biological structures. *Bulletin of Kharkiv national technical University of agriculture named of P. Vasilenko*. 2015. Vol.164. pp. 166-168.

### **ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ХВОРОБ ВЕЛИКОЇ РОГАТОЇ ХУДОБИ**

**Попрядухін В.С., Попова І.О.**

#### *Анотація*

Терапевтична ефективність використання лікувальних засобів для лікування хвороб і розладів функцій гонад корів доволі низька. Крім того не враховуються негативні дії на людину антибіотиків та інших медикаментів, що потрапляють через молоко і м'ясо корів і пригнічують імунітет, вражають печінку та інші органи. Тому немедикаментозне лікування гонад у корів за допомогою інформаційного електромагнітного поля є більш перспективним. В роботі проведено аналітичне обґрунтування параметрів і діаграми направленості рупорохвильової системи для лікування корів. Прийнята випромінююча система з обтічником, що має пірамідальний рупор, який переходить у прямокутний хвилевід чотирьох міліметрового діапазону. Визначені параметри головних пелюстків діаграми спрямованості і рівень потужності при частоті на поверхні, прямокутного розкриття, розмірів прямокутного розкриття, розмірів хвилевода, діаметр, товщина і фокусна відстань діелектричної лінзи дозволяють розробити пристрій для опромінення гонад корів.

**Ключові слова:** інформаційне електромагнітне поле; міліметрові хвилі; внутрішньоутробне лікування; патогенні коки.

### **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ЛЕЧЕНИЯ БОЛЕЗНЕЙ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА**

**Попрядухин В.С., Попова И.А.**

#### *Аннотация*

Терапевтическая эффективность использования лекарственных средств для лечения болезней и расстройств функций гонад коров довольно низкая. Кроме того, не учитываются негативные воздействия на человека антибиотиков и других медикаментов, попадают через молоко и мясо коров, которые подавляют иммунитет, поражают печень и другие органы. Поэтому не медикаментозное лечение гонад у коров с помощью информационного электромагнитного поля является более перспективным. В работе проведено аналитическое обоснование параметров и диаграммы направленности рупорной волновой системы для лечения коров. Принятая излучающая система с обтекателем, имеет пирамидальный рупор, который переходит в прямоугольный волновод четырехмиллиметрового диапазона. Определены параметры головки лепестка диаграммы направленности и уровень мощности при частоте на поверхности, прямоугольного раскрытия, размеры прямоугольного раскрытия, размеры волновода, диаметр, толщина и фокусное расстояние диэлектрической линзы, это позволяет разработать устройство для облучения гонад коров.

**Ключевые слова:** информационное электромагнитное поле; миллиметровые волны; внутриутробное лечение; патогенные кокки.



## DETERMINATION OF PARAMETERS OF RADIATION SYSTEMS FOR TREATMENT OF DISEASES OF CATTLE

Popriadukhin V., I. Popova

### *Summary*

The therapeutic efficiency of the use of drugs for the treatment of diseases and disorders of the functions of the gonads of cows is rather low, since the complex multicomponent complex in the regulation of sexual function, the dynamics of the state of hormonal receptors and the sensitivity of the corresponding organs of cows are not taken into account. In addition, the negative effects on humans of antibiotics and other medications are not taken into account, they enter through milk and cow meat, which suppress the immune system, affect the liver and other organs. Therefore, non-drug treatment of gonads in cows using an electromagnetic information field is more promising. The paper provides an analytical substantiation of the parameters and directional patterns of the horn wave system for the treatment of cows. The adopted radiating system with a fairing has a pyramidal horn that transforms into a rectangular waveguide of four millimeter wavelengths. The whole structure is located in a dielectric vinyl plastic tube. For centering the waveguide elements in the pipe, foam inserts are used. Emitters of this type provide an axially symmetrical and narrow radiation pattern. To calculate the parameters of the irradiation system, the aperture method was used; it is assumed that the size of the opening of the system is much larger than the wavelength. On the basis of the anatomical construction of cow gonads, for repeated intrauterine irradiation of the reproductive organs of cows, the geometric dimensions of the irradiation system, the density and dielectric constant of the material, and the dielectric loss tangent of the fairing were determined. The parameters of the lobe head and the power level at the surface frequency, rectangular opening, the dimensions of the rectangular opening, the dimensions of the waveguide, the diameter, thickness and focal length of the dielectric lens have been determined; this makes it possible to develop a device for irradiating the gonads of cows.

**Key words:** informational electromagnetic field; millimeter waves; intrauterine treatment; pathogenic cocci.



УДК 621.313.3

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-27

## ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ПРИКЛАДENOЮ НАПРУГОЮ

Вовк О. Ю., к. т. н.

ORCID:0000-0003-0154-6972

Квітка С. О., к.т.н.

ORCID:0000-0001-9234-9274

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: [oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua](mailto:oleksandr.vovk@tsatu.edu.ua)

*Постановка проблеми.* Електромеханічне перетворення енергії у багатьох виробничих і побутових процесах здійснюється за допомогою електроприводу, на частку якого в різних країнах Європи припадає споживання від 50% до 70% всієї виробленої електричної енергії [1–4]. Більшу частину всіх електроприводів складають електроприводи змінного струму, доля яких становить за різними даними від 68% до 85% від загальної кількості електроприводів (головним чином, це асинхронні електроприводи) [5, 6].

Значний час роботи асинхронні електродвигуни, які є силовими приводними агрегатами асинхронних електроприводів, функціонують з не оптимальним навантаженням, що обумовлює зменшення їх коефіцієнта корисної дії у порівнянні з максимальним значенням. У різних провідних країнах кількість асинхронних електроприводів коливається від 80% до 90% [7]. Використання пристроїв для регулювання роботи асинхронних електродвигунів дозволить економити до 40 – 50% споживаної ними електроенергії [8, 9], а економія 1 кВт споживаної потужності обходиться в 4–5 разів дешевше вартості 1 кВт потужності нової енергогенеруючої установки, яка вводиться у дію [5]. Тому заощадження електроенергії при роботі трифазних асинхронних електродвигунів приводу робочих машин поточкових технологічних ліній є актуальною народно-господарською проблемою, вирішенню якої присвячено багато науково-практичних робіт.

*Аналіз останніх досліджень.* На сучасному етапі для вирішення зазначеної проблеми в усьому світі використовуються регульовані асинхронні електроприводи, які дають значний ефект як в економії електроенергії, так і в інших показниках технологічного процесу. У цьому напрямку працюють багато вчених, серед яких Барський В.А., Бешта А.С., Горбачев Н.В., S. Mirchevski, S. Hussein, H. Gavrilă, Гуляев І.В., Тугаев Г.М., Борисевич А.В., Козарук А.Е., Васильев В.Ю.,



Ушшаков А.С., Колганов А.Р., Назипова Л.Р., М. Jannati, SA. Anbaran, G. Kohlrusz, D. Fodor і багато інших, якими було досліджено різні аспекти енергозберігаючого керування асинхронних електродвигунів. У всіх запропонованих системах автоматичного керування електроприводами є свої переваги і недоліки, які докладно описані в [10–15]. Крім перерахованого в зазначених літературних джерелах, регульований асинхронний привід має ще один недолік – всі існуючі алгоритми його функціонування і засоби для їх реалізації не враховують конструктивні і режимні особливості робочої машини, яка приводиться в дію асинхронним електродвигуном приводу.

*Формулювання цілей статті.* Одними з характеристик робочих машин, що відображають ці особливості, є їх механічні характеристики, які мають характерний вид для певних типів робочих машин. Тому в статті пропонується здійснювати керування асинхронним електродвигуном приводу робочих машин з урахуванням виду їх механічних характеристик по мінімуму втрат активної потужності в електродвигуні за допомогою прикладеної напруги з урахуванням завантаження електродвигуна. Метою статті є встановлення залежності між напругою на затискачах електродвигуна і коефіцієнтом його навантаження з урахуванням виду механічної характеристики робочої машини при мінімумі втрат активної потужності в електродвигуні.

*Основна частина.* З метою встановлення залежності між втратами активної потужності в асинхронному електродвигуні, прикладеною напругою, навантаженням асинхронного електродвигуна і коефіцієнтом, що характеризує вид механічної характеристики робочої машини, розглянемо процес електромеханічного перетворення енергії в електродвигуні, використовуючи його Г-подібну схему заміщення (рис.1).

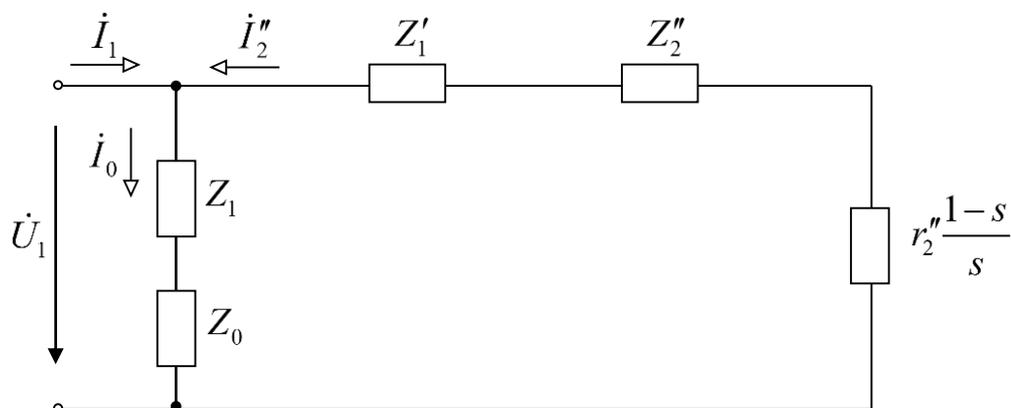


Рис. 1. Г-подібна схема заміщення фази асинхронного електродвигуна [16]



На схемі (рис.1) позначено:  $\dot{U}_1$  – комплекс діючого значення напруги, прикладеної до фази електродвигуна;  $\dot{I}_1$  – комплекс діючого значення сили струму у фазі електродвигуна;  $\dot{I}_2''$  – комплекс діючого значення сили струму навантажувальної вітки;  $\dot{I}_0$  – комплекс діючого значення сили струму вітки намагнічування;  $s$  – ковзання електродвигуна;  $Z_1, Z_0, Z_1', Z_2''$  – комплекси повних опорів віток схеми.

Комплекси повних опорів віток схеми дорівнюють:

$$Z_1 = r_1 + jx_1; \quad (1)$$

$$Z_0 = r_0 + jx_0; \quad (2)$$

$$Z_1' = r_1' + jx_1'; \quad (3)$$

$$Z_2'' = r_2'' + jx_2'', \quad (4)$$

де  $r_1', x_1', r_2'', x_2'', r_1, x_1, r_0, x_0$  – параметри Г-подібної схеми заміщення, Ом.

Запишемо рівняння втрат в асинхронному електродвигуні, застосовуючи схему заміщення на рис. 1. Постійні втрати потужності виникають у вітці намагнічування схеми, тому вони дорівнюють:

$$\Delta P_{const} = 3 \cdot r_1 \cdot I_0^2 + 3 \cdot r_0 \cdot I_0^2. \quad (5)$$

Через те, що

$$I_0 = \frac{U_1}{\sqrt{(r_1 + r_0)^2 + (x_1 + x_0)^2}}, \quad (6)$$

отримаємо:

$$\Delta P_{const} = \frac{3 \cdot (r_1 + r_0) \cdot U_1^2}{(r_1 + r_0)^2 + (x_1 + x_0)^2}. \quad (7)$$

За умови дії на затискачах електродвигуна номінальної напруги (тобто  $U_1 = U_{1н}$ ) рівняння (7) прийме вигляд:



$$\Delta P_{const.H} = \frac{3 \cdot (r_1 + r_0) \cdot U_{1H}^2}{(r_1 + r_0)^2 + (x_1 + x_0)^2}. \quad (8)$$

Розділивши (7) на (8) отримаємо:

$$\Delta P_{const} = \Delta P_{const.H} \cdot \left( \frac{U_1}{U_{1n}} \right)^2. \quad (9)$$

Увівши позначення:

$$k_u = \frac{U_1}{U_{1n}}, \quad (10)$$

де  $k_u$  – коефіцієнт відхилення напруги,  
отримаємо:

$$\Delta P_{const} = \Delta P_{const.n} \cdot k_u^2. \quad (11)$$

Змінні втрати потужності виникають у навантажувальній вітці схеми, тому вони дорівнюють:

$$\Delta P_{var} = 3 \cdot r_1' \cdot (I_2'')^2 + 3 \cdot r_2'' \cdot (I_2'')^2. \quad (12)$$

Через те, що

$$I_2'' = \frac{U_1}{\sqrt{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1-s}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}}, \quad (13)$$

отримаємо:

$$\Delta P_{var} = \frac{3 \cdot (r_1' + r_2'') \cdot U_1^2}{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1-s}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (14)$$



За умови дії на затискачах електродвигуна номінальної напруги та за умови номінального навантаження (тобто  $s = s_H$ ) рівняння (14) прийме вигляд:

$$\Delta P_{var.H} = \frac{3 \cdot (r_1' + r_2'') \cdot U_{1H}^2}{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (15)$$

Розділивши (14) на (15) отримаємо:

$$\Delta P_{var} = \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot \left( \frac{U_1}{U_{1H}} \right)^2. \quad (16)$$

З урахуванням (10) рівняння (16) буде мати вигляд:

$$\Delta P_{var} = \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (17)$$

Якщо додати (11) до (17), то отримаємо сумарні втрати активної потужності в асинхронному електродвигуні:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{const.n} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \cdot \frac{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s_H}{s_H} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left( r_1' + r_2'' + r_2'' \cdot \frac{1 - s}{s} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (18)$$

Після перетворень (18) можна записати у такому вигляді:



$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{const.n} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.n} \cdot \frac{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s_n}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \cdot k_u^2. \quad (19)$$

Уведемо позначення:

$$z_n = \left(r_1' + \frac{r_2''}{s_n}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2, \quad (20)$$

де  $z_n$  – повний опір навантажувальної вітки Г-подібної схеми заміщення в номінальному режимі роботи, Ом,  
і перепишемо (19) у наступному вигляді:

$$\Delta P_{\Sigma} = \left( \Delta P_{const.n} + \Delta P_{var.n} \cdot \frac{z_n}{\left(r_1' + \frac{r_2''}{s}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \right) \cdot k_u^2. \quad (21)$$

У [17–20] досліджено, як залежить ковзання асинхронного електродвигуна від прикладеної напруги, навантаження і виду механічної характеристики робочої машини. Тому вираз (21) для електродвигуна приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою з урахуванням [17–20] буде мати вигляд:

$$\Delta P_{\Sigma} = \left( \Delta P_{const.n} + \Delta P_{var.n} \cdot \frac{z_n}{\left(r_1' + \frac{r_2'' \cdot k_u^2}{s_n \cdot k_3}\right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \right) \cdot k_u^2. \quad (22)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт завантаження асинхронного електродвигуна, який дорівнює відношенню поточного моменту на валу електродвигуна до номінального.

Для електродвигуна приводу робочої машини з лінійно зростаючою механічною характеристикою вираз (21) буде мати вигляд:



$$\Delta P = \left( \Delta P_{const.H} + \Delta P_{var.H} \cdot \frac{z_H}{\left( r_1' + \frac{r_2'' \cdot \left( \frac{k_u^2}{k_l \cdot s_n} + \frac{1 - M_*}{1 - s_n} \right)}{M_* + \frac{1 - M_*}{1 - s_n}} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2} \right) \cdot k_u^2. \quad (23)$$

где  $M_*$  – відносне значення моменту зрушення робочої машини.

Для електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно зростаючою механічною характеристикою вираз (21) буде мати вигляд:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \times \frac{z_H \cdot k_u^2}{\left( r_1' + \frac{r_2''}{1 + \frac{(1 - s_n)}{k_3 \cdot 2s_n} \left( k_u^2 - \sqrt{k_u^4 (1 - s_n) + k_3 \cdot 4s_n (1 - M_*) (k_u^2 + k_3 \cdot s_n M_*)} \right)} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (24)$$

Для електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно спадаючою механічною характеристикою вираз (21) буде мати вигляд:

$$\Delta P_{\Sigma} = \Delta P_{const.H} \cdot k_u^2 + \Delta P_{var.H} \times \frac{z_H \cdot k_u^2}{\left( r_1' + \frac{r_2''}{\frac{1}{2} \left( \left( 1 + \frac{k_3}{k_u^2} s_n M_* \right) - \sqrt{\left( 1 - \frac{k_3}{k_u^2} s_n M_* \right)^2 - 4 \frac{k_3}{k_u^2} (1 - M_*) (1 - s_n)} \right)} \right)^2 + (x_1' + x_2'')^2}. \quad (25)$$

Встановимо залежності коефіцієнту відхилення напруги від коефіцієнту завантаження асинхронного електродвигуна приводу робочих машин з різними видами механічних характеристик, за якої втрати активної потужності в електродвигуні будуть мінімальними, використовуючи рівняння (22) – (25).

При розкритті дужок в (22) – (25) отримаємо рівняння восьмого і вище порядків щодо  $k_u$ . Тому аналітично вивести рівняння для

розрахунку  $k_u$  в залежності від  $k_3$  не є можливим. Таку залежність можна отримати тільки чисельно для конкретного асинхронного електродвигуна, використовуючи програму, що дозволяє знаходити мінімум функції. Результати розрахунків і апроксимацій кривих для асинхронного електродвигуна АИР100S4 (номінальною потужністю 3,0 кВт) у разі приводу робочих машини з різними видами механічних характеристик показано на рис.2 – 5.

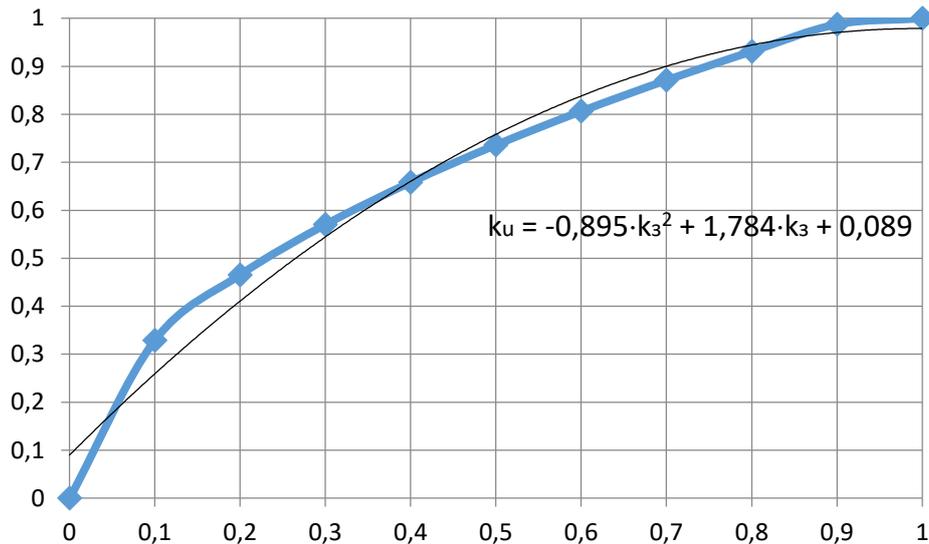


Рис. 2. Залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронного електродвигуна приводу робочої машини з незалежною від швидкості механічною характеристикою

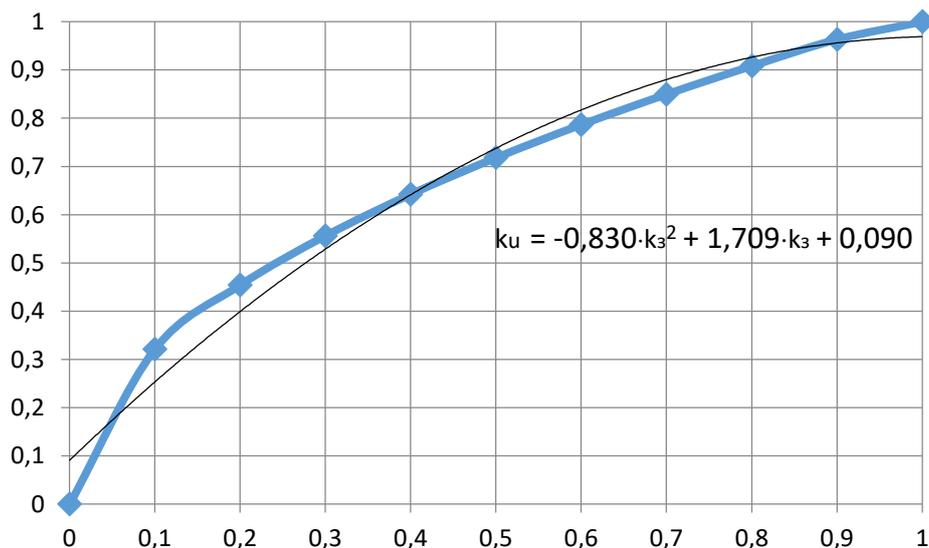


Рис. 3. Залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронного електродвигуна приводу робочої машини з лінійно зростаючою механічною характеристикою

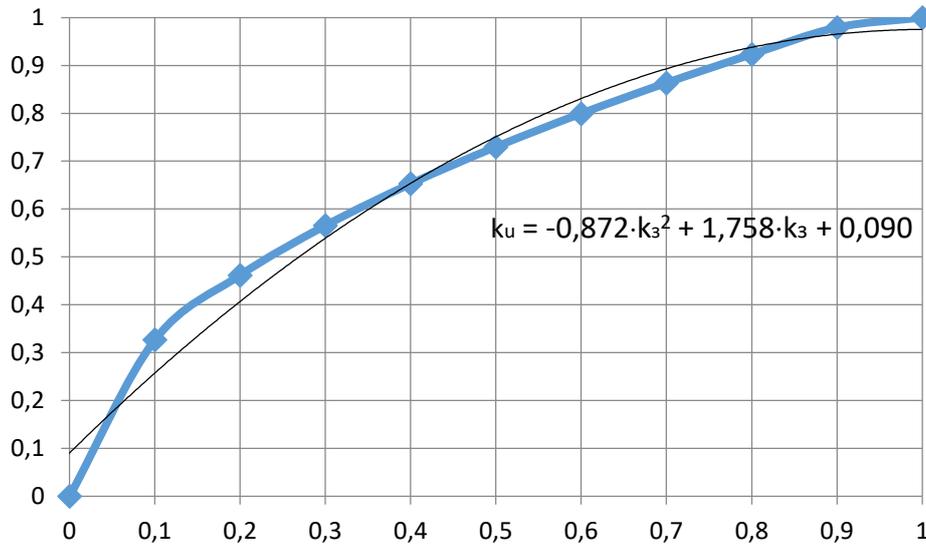


Рис. 4. Залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронного електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно зростаючою механічною характеристикою

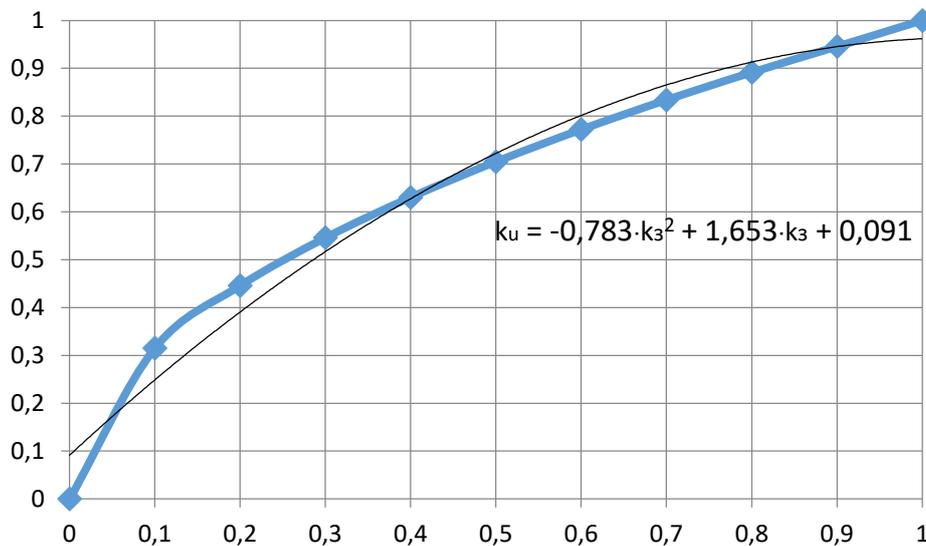


Рис. 5. Залежність  $k_u = f(k_3)$  для асинхронного електродвигуна приводу робочої машини з нелінійно спадаючою механічною характеристикою

З рівнянь на рис. 2–5 видно, що коефіцієнти в них різні, вони характеризують вид механічної характеристики робочої машини і конструктивні параметри електродвигуна. Отже, управління асинхронним електродвигуном по мінімуму втрат активної потужності за допомогою напруги, що підводиться, в залежності від його





навантаження повинне здійснюватися за попередньо отриманими залежностями  $k_u = f(k_3)$ , які враховують конструктивні параметри електродвигуна і вид механічної характеристики робочої машини. Розрахунок треба здійснювати в програмі, що дозволяє знаходити мінімум функції, задаючись завантаженням електродвигуна і використовуючи вирази (22)–(25). Після розрахунку отримані залежності апроксимують і отримують рівняння для управління електродвигуном.

*Висновки.* Таким чином, керування асинхронними електродвигунами приводів робочих машин з різними видами механічних характеристик за допомогою прикладеної напруги повинно здійснюватись за попередньо чисельно визначеними залежностями коефіцієнту відхилення напруги від коефіцієнту завантаження конкретного електродвигуна із умови мінімуму втрат в електродвигуні.

Список використаних джерел:

1. Барский В.А., Бешта А.С., Горбачев Н.В., Загирняк М.В. и др. Электропривод как энергосберегающий фактор в промышленности и ЖКХ Украины // *Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит.* № 9 (115). 2013. С. 2-11.
2. S. Mirchevski, M. Bartłomiejczyk, Š. Hamacek, H. Hamacková. Analysis of energy efficiency in electric drives // *Result and solutions of young r & s for innovations and progress.* 2013. pp.5-9.
3. Hussein S. Energy Efficient Control of Three-Phase Induction Motor Drive // *Energy and Power Engineering.* no.3. 2011. pp. 107-112.
4. V. Manescu (Paltanea), G. Paltanea, G. Scutaru, I. Peter. New Trends in Energy Efficient Electrical Machines // *Procedia Engineering.* No.181. 2017. pp. 568-574.
5. Mirchevski S. Energy Efficiency in Electric Drives // *Electronics.* vol. 16, no.1, june, 2012. pp. 46-49.
6. Гуляев И.В., Тутаев Г.М. Системы векторного управления электроприводом на основе асинхронизированного вентильного двигателя: монография. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2010. 200 с.
7. Борисевич А.В. Энергосберегающее векторное управление асинхронными электродвигателями: обзор состояния и новые результаты: монография. М.: ИНФРА-М, 2015. 102 с.
8. U.S. Department of Energy. Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office. Energy Savings Potential and Opportunities for High-Efficiency *Electric Motors in Residential and Commercial Equipment.* December, 2013. 80 p.



9. Energy Efficiency with Electric Drive Systems / ZVEI - German Electrical and Electronic // *Responsible: Gunther Koschnick, Bernhard Sattler*. April, 2015. 30 p.

10. Kozyaruk A.E., Vasiliev B.Yu. Methods and tools increasing energy efficiency of machines and technologies with asynchronous drives // *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*, 2015. vol. 15., no. 1, pp. 47-53.

11. Ушаков А.С., Колганов А.Р. Исследование современных методов энергосберегающего управления асинхронным электроприводом // *Вестник Ивановского государственного энергетического университета*, 2012. Вып.2. С. 1-8.

12. Назипова Л.Р. Недостатки применения частотного управления на типовых асинхронных электродвигателях // *Наука, образование, общество: материалы VI Международной научно-практической конференции*. В 2 т., Т.1. Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2017. С. 326-329.

13. M. Jannati, SA. Anbaran, SH. Asgari, WY. Goh and others. A review on Variable Speed Control techniques for efficient control of Single-Phase Induction Motors: Evolution, classification, comparison // *Renewable & sustainable energy reviews*, 2017. vol.75. pp. 1306-1319.

14. G. Kohlrusz, D. Fodor. Comparison of scalar and vector control strategies of induction motors // *Hungarian journal of industrial chemistry veszprém*, 2011. vol. 39(2). pp. 265-270.

15. Kostić M. Analysis of Induction Motor Efficiency Class Change at Partial Load // *Elec. Energ.* vol. 23, no.3. December 2010. pp. 333-344.

16. Гольдберг О.Д., Гурин Я.С., Свириденко Я.С. Проектирование электрических машин / Под ред. О. Д. Гольдберга. М.: Высшая школа, 2001. 430с.

17. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Квітка О.С. Вплив відхилення напруги живлячої мережі на втрати потужності в асинхронному електродвигуні // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2015. Вип. 164. С. 121-123.

18. Квітка С.О., Вовк О.Ю., Квітка О.С. Дослідження втрат активної потужності в асинхронному електродвигуні // *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Вип.7, т.1. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. С. 126 – 134.

19. Вовк О.Ю. Квітка С.О., Квітка О.С. Вплив зниження напруги живлячої мережі на теплове зношення ізоляції асинхронного електродвигуна // *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. Вип. 153 «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. Харків: ХНТУСГ, 2014. С. 79-81.



20. Вовк О.Ю., Квітка С.О., Дідур В.А. Вплив відхилення живлячої напруги на ресурс ізоляції асинхронних електродвигунів поточкових технологічних ліній // *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2019 Вип. 9., Т.2. DOI: 10.31388/2220-8674-2019-1-25

**ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧЕ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМИ  
ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ ПРИКЛАДENOЮ НАПРУГОЮ  
Вовк О.Ю., Квітка С.О.**

*Анотація*

У статті розглянуто один із шляхів вирішення народно-господарської проблеми заощадження електроенергії при роботі асинхронних електродвигунів, що застосовуються для приводу робочих машин поточкових технологічних ліній. Показано, що всі існуючі системи енергоефективного керування асинхронними електроприводами не враховують види механічних характеристик робочих машин. Проаналізовано з точки зору енергозбереження процес електромеханічного перетворення енергії асинхронних електродвигунів. Отримано залежності живлячої напруги від завантаження асинхронних електродвигунів приводу робочих машин з різними видами механічних характеристик, які дозволяють здійснювати управління асинхронними електроприводами за допомогою прикладеної напруги з урахуванням мінімуму втрат активної потужності в електродвигуні. Наведено результати аналітичних досліджень.

**Ключові слова:** асинхронний електродвигун, втрати потужності, робоча машина, навантаження, енергозбереження, керування, механічна характеристика.

**ЕНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ УПРАВЛЕНИЕ АСИНХРОННЫМИ  
ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ ПРИЛОЖЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ  
Вовк А.Ю., Квитка С.А.**

*Аннотация*

В статье рассмотрен один из путей решения народно-хозяйственной проблемы энергосбережения при работе асинхронных электродвигателей, применяемых для привода рабочих машин поточных технологических линий. Показано, что все существующие системы энергоэффективного управления асинхронными электроприводами не учитывают виды механических характеристик рабочих машин. Проанализированы с точки зрения энергосбережения процесс электромеханического преобразования энергии асинхронных электродвигателей. Получены зависимости питающего напряжения от загрузки асинхронных электродвигателей привода рабочих машин с различными видами механических характеристик, которые позволяют осуществлять управление асинхронными электроприводами с помощью приложенного напряжения с учетом минимума потерь активной мощности в электродвигателе. Приведены результаты аналитических исследований.

**Ключевые слова:** асинхронный электродвигатель, потери мощности, рабочая машина, нагрузка, энергосбережение, управление, механическая характеристика.



## ENERGY SAVING CONTROL OF ASYNCHRONOUS ELECTRIC MOTORS WITH APPLIED VOLTAGE

O. Vovk, S. Kvitka

### *Summary*

The article discusses one of the ways to solve the national economic problem of energy saving during the operation of three-phase asynchronous electric motors used to drive working machines of production lines. The existing systems of energy efficient control of asynchronous electric drives are considered and it is shown that all of them do not take into account the types of mechanical characteristics of working machines. This fact is reflected in the accuracy of electric motor control to minimize electricity consumption. Using the L-shaped equivalent circuit, the process of electromechanical energy conversion in asynchronous electric motors used to drive working machines with various types of mechanical characteristics that operate under load conditions is analyzed from the point of view of energy saving. As a result of the analysis, equations were obtained for the total losses of active power in an asynchronous electric motor, depending on the coefficient of deviation of the applied voltage, load factor, design parameters of the electric motor and the type of mechanical characteristics of the working machine. The dependences of the voltage deviation coefficient on the load coefficient of asynchronous electric motors of the drive of working machines with various types of mechanical characteristics are obtained. By approximating these dependencies, equations are obtained that make it possible to control asynchronous electric drives using the applied voltage, taking into account the minimum active power losses in the electric motor. A technique has been developed for energy-saving control of asynchronous electric motors using an applied voltage. The results of analytical studies are presented. The obtained equations can be used in the design of energy-saving control devices.

**Key words:** asynchronous motor, power loss, equivalent circuit, work machine, load, energy saving, control, mechanical characteristic, slip.



УДК 004.891.2

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-28

## РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВОЇ СИСТЕМИ АГРОНОМА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА В УКРАЇНІ

Лубко Д. В.<sup>1</sup>, к.т.н.

ORCID: 0000-0002-2506-4145

Зінов'єва О. Г.<sup>1</sup>, ст. викл.

ORCID: 0000-0003-3760-8952

Шаров С. В.<sup>2</sup>, к.п.н.

ORCID 0000-0001-5732-9980

<sup>1</sup>Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: di75ta@gmail.com

<sup>2</sup>Мелітопольський державний педагогічний університет імені Богдана Хмельницького

*Постановка проблеми.* Одним із найважливіших сегментів продовольчого ринку країни є ринок соняшника, функціонування якого обумовлено як загальними ринковими законами і закономірностями, так і його специфічними особливостями [1-3]. Соняшник – це доволі поширена технічна і сільськогосподарська культура, яка широко культивується на півдні України, також це основна олійна культура України. Охоплює близько 110 видів [4,5]. На соняшникову олію припадає 98% від загального виробництва олії в Україні. Її використовують для технічних потреб (при виготовленні мила, лаків, фарб, лінолеуму тощо). За народногосподарською цінністю та значенням він не поступається таким широко поширеним культурам як пшениця, кукурудза та соя. Порівняно з іншими олійними культурами соняшник дає найбільший вихід олії з одиниці площі (750 кг/га у середньому по країні). На соняшникову олію припадає 98% загального виробництва олії в Україні. Основні посіви соняшника як теплолюбної культури зосереджені переважно у південних областях України. Соняшник розповсюджений переважно в північних і центральних районах Степу. Його посіви займають понад 4,0 млн. га, що становить 64,7% площі всіх технічних і 15,7% площі усіх сільськогосподарських культур [6-8].

Серед світових виробників Україна посідає друге-третє місце за валовим збором насіння соняшнику. Упродовж останніх трьох років у країні виробляється 4,3-5,3 млн. т насіння. При переробці насіння на олію, одержують макуху або шрот, які є цінним концентрованим кормом з вмістом білка 35-36% [9].



Соняшник – високорентабельна та вигідна в економічному відношенні культура. Виробництво соняшника справляє суттєвий вплив на ефективність функціонування усієї галузі рослинництва. Висока закупівельна ціна на насіння цієї культури робить її економічно вигідною для вирощування, сприяє підйому економіки господарств. Попит на соняшник і соняшникову олію суттєво не зменшується при зростанні цін.

Соняшник в Запорізькій області є стратегічною культурою і займає перше місце в структурі посіву, так в 2019 році його посівна площа становила 545 тис./га, або 39% від загальної кількості посівної площі в області. Така кількість соняшника обумовлена дефіцитом вологи, неспроможності інших культур давати достатні врожаї при таких умовах і висока рентабельність культури.

Нині рівень використання біологічного потенціалу соняшнику є найменшим серед олійних культур і навіть не досягає 50%. Ефективність функціонування олійно-жирового підкомплексу України значною мірою залежить від стабільного та ефективного виробництва соняшнику на сільськогосподарських підприємствах [10].

Зростання виробництва насіння соняшника передбачається на основі збільшення врожайності за умови впровадження прогресивних технологій вирощування цієї культури, використання нових високоврожайних гібридів та застосування науково-обґрунтованих сівозмін.

*Аналіз останніх досліджень.* Дослідження питань формування і розвитку ринку соняшника висвітлюється у працях вчених-економістів: А. Алтухова, Д. Вермеля, В. Гончарова, Н. Дворядкина, В. Логінова та інших. Проблеми оптимального розміщення сільськогосподарського виробництва та підвищення ефективності виробництва насіння соняшника і продукції його переробки висвітлюються в працях провідних учених Н. П. Олександрова, А. І. Барбашіна, В. Д. Гончарова, М. Г. Дворядкина, В. П. Заслонкіна, П. Д. Половінкіна, К. С. Тернових та інших. Питанням реальних шляхів виходу з кризи, збільшення виробництва і підвищення ефективності олійних культур присвячено наукові дослідження багатьох вчених-аграріїв. Великий теоретичний та практичний інтерес мають праці В. Бартнева, Д. Васильєва, В. Лошакова, В. Пустовойта та інших. В дослідженнях цих учених вивчалися і аналізувалися різні аспекти становлення та інтенсифікації олійно-жирового комплексу, його галузей в різні періоди, розглядалися проблеми організації насіннєзнавства, спеціалізації та стимулювання виробництва насіння соняшника, пропонувалися теоретичні й практичні рекомендації щодо удосконалення рівня господарювання у цій сфері [8-10].



Різними аспектами виробництва та функціонування ринку соняшнику в Україні присвячені праці вітчизняних вчених, таких як: В'юна В.Г., Євчук Л.А., Каретникової В.С., Кириченка В.В., Кухти В.Г., Кучеренка С.Ю., Побережної А.А., Сайка В.Ф. та ін. вчених. Проте перспективи виробництва соняшнику на сільськогосподарських підприємствах ще недостатньо вивчені [10,11].

Дуже значний вплив на проблематику підвищення ефективності виробництва соняшнику, а також значні теоретичні дослідження внесли такі відомі вітчизняні вчені-економісти: Андрійчук В.Г., Бабенко Ю.В., Воронянська О.В., Гайдуцький П.І., Гладій М.В., Євчук Л.А., Кучеренко С.Ю., Лукінов І.І., Макаренко П.М., Саблук П.Т., Федоряка В.П., Хорунжий М.Й., Чернюк Л.Г., Шпичак О.М. [12].

*Формулювання мети статті.* Розробка інформаційно-довідкової системи агронома для ефективного вирощування соняшника в Україні.

*Основна частина.* Збільшити виробництво соняшника можливо двома шляхами. Перший – розширення посівних площ – це екстенсивний шлях, але він зумовлений двома обставинами: соняшник теплолюбна культура і він може вирощуватися тільки у певних ґрунтово-кліматичних зонах, а друга умова – в цих зонах він може займати не більш одного поля в 8-10-ти спільній сівозміні. Крім цього, екстенсивний шлях розвитку виробництва пов'язаний зі значними додатковими витратами на виробництво. Другий шлях – інтенсифікація виробництва. Він не потребує додаткових площ, його здійснюють за рахунок додаткових витрат на одиницю площі. Витрати включають посів кращими сортами і гібридами, внесення мінеральних і органічних добрив, ефективний захист рослин від бур'янів, хвороб і шкідників, систему агротехніки та інше.

*Проблематика.* Найважливішим фактором для збільшення виробництва соняшника є зростання його врожайності, а для цього ми пропонуємо розробити спеціалізовану інформаційно-довідкову (вона же експертна) програмну, локальну систему.

Передбачається інформаційно-довідкову систему розробити за допомогою продукційної моделі. Також система буде мати базу знань. А засобом реалізації буде об'єктно-орієнтована мова С#.

Ця розроблена інформаційно-довідкова система (ІДС), основана на експертній, дозволить швидко, якісно та без фінансових витрат на поради фахівців-експертів з соняшника збільшити врожайність соняшника на підставі точних агро рекомендацій з його вирощування.

В керуванні сільськогосподарським виробництвом, а також при прийнятті рішень в цій сфері, велике значення знаходять експертні системи. Експертна система – це інтелектуальна комп'ютерна програма, в якій використовуються знання та процедури логічного виводу для розв'язання досить важких, різнопланових завдань та задач.



Дані системи дозволяють отримувати розв'язок задач завдяки спеціальним базам знань, в яких містяться відомості тієї області, до якій належить задача. Бази знань складаються на основі знань спеціалістів. Таким чином, при роботі з експертними системами користувач може отримати відповідь на питання, яке його цікавить без допомоги спеціаліста [13-15].

Далі ми розглянемо процес розробки інформаційно-довідкової системи для агронома для ефективного вирощування соняшника в Україні. Дана система була розроблена за допомогою мови програмування C# в середовищі Visual Studio 2018.

Опишемо поетапно та покроково методологію проектування даної спеціалізованої інформаційно-довідкової системи.

#### **1 етап. Аналіз предметної області проектування.**

Докладний розгляд предметної області проектування, а саме: визначаємо проблематику теми; актуальність теми; виконуємо аналіз останніх досліджень з теми інших вчених-дослідників; розглядаємо проблеми проектування.

#### **2 етап. Аналіз ресурсів та цілей при проектуванні системи.**

Аналіз ресурсів при проектуванні системи, а саме: визначаємо спроможність фінансування та її джерело; визначаємо керівника теми та людей-виконавців; ставимо цілі, задачі та терміни виконання завдання.

#### **3 етап. Виконання проектування технічного завдання системи.**

На руки програміст отримує технічне завдання від заказчика (господарства, підприємства, тощо) системи.

#### **4 етап. Визначення основних вхідних критеріїв (факторів) при проектуванні системи.**

По нормам, довідникам та вимогам до вирощування соняшника визначаються основні критерії (фактори) для даної технології за технічним завданням господарства (дивись п. 3).

#### **5 етап. Опис предметної області проектування.**

Предметна область системи, яка розробляється, описується діаграмою варіантів використання (прецедентів) (рис. 1).

Діаграми варіантів використання застосовуються для моделювання уявлення системи з точки зору варіантів використання.

Для опису взаємодії користувачів з нашою системою була побудована спрощена діаграма варіантів використання (рис. 1). Дана діаграма варіантів використання дозволяє побачити ролі кожного актора у системі.

За допомогою діаграми варіантів використання проектована система представляється у вигляді наборів факторів, що взаємодіють з системою за допомогою так званих варіантів використання. Актором є будь-яка сутність, що взаємодіє з системою ззовні. У свою чергу



варіант використання описує, що система надає акторові, тобто визначає деякий набір транзакцій, який виконується актором при діалозі з системою.

З нашою системою можуть взаємодіяти три групи акторів:

- експерт – займається введенням знань в експертну систему, коригує базу знань;
- користувач – отримує відповіді (рекомендації) від експертної системи.
- адміністратор (програміст) – має всі права, може здійснювати всі дії з базою даних (БД) та її об'єктами, управляє БД та редагує її;

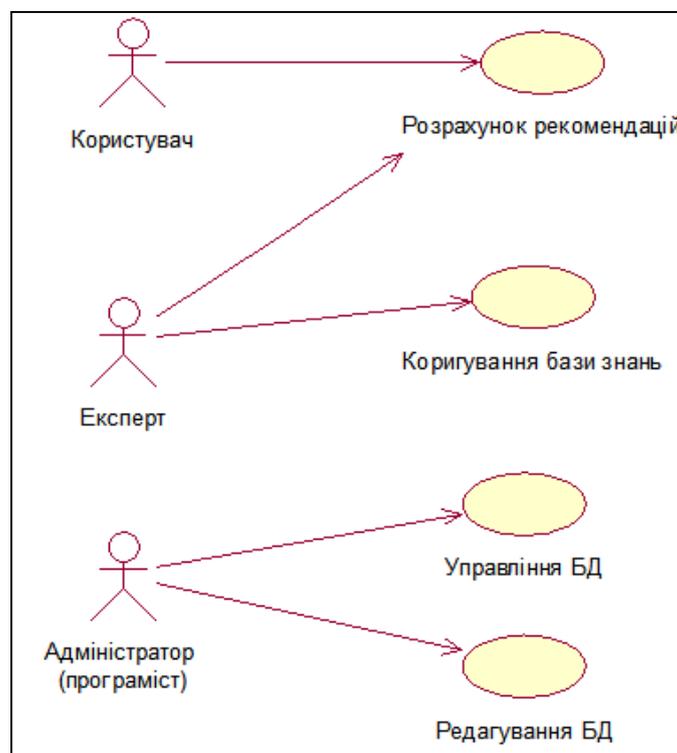


Рис. 1. Діаграма варіантів використання (спрощена)

Розгорнута діаграма варіантів використання (прецедентів) наведена на рисунку 2.

На даній діаграмі представлений актор – будь-яка сутність, яка взаємодіє з системою зовні, а також всі можливі дії, що реєструються у експертній системі.

Для даної експертної системи варіантами використання вхідні та вихідні данні.

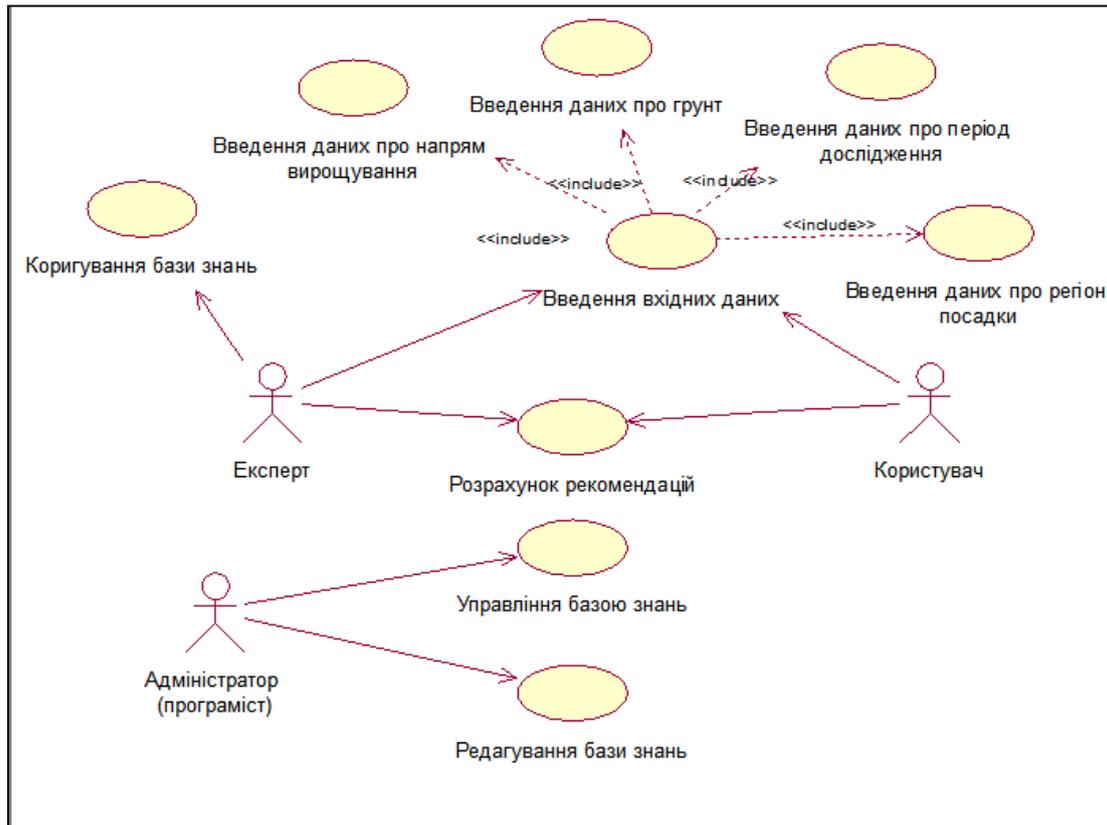


Рис. 2. Діаграма варіантів використання (прецедентів)

*Блок вхідних даних має наступні елементи:*

А. Напрямок вирощування: соняшникова олія; насіння соняшнику; біопаливо.

Б. Грунт: чорнозем; піщаний; степний.

В. Вид: сорт; гібрид.

Г. Період дозрівання: ранньостиглі; середньоранні; середньостиглі; середньопізні.

Д. Регіон висаджування: південь; північ; схід; захід.

*Блок вихідних факторів* має відповідні вікна, куди виводяться відповідні до агротехнології рекомендації, а саме: рекомендована сівозміна; рекомендовані добрива; рекомендований полив; заходи щодо захисту сходів соняшника; передбачена врожайність соняшника; рекомендовані сорти та гібриди.

### **6 етап. Проектування функціональної моделі IDEF0 системи.**

Процес проектування інформаційної системи (розробленої ЕС) може бути представлений діаграмою функціонального моделювання IDEF0 (рис. 3).

Дана система розроблена для того, щоб користувач зміг визначити, яка з технологій є найбільш придатною для застосування в конкретному сільськогосподарському підприємстві. Відповідаючи на

ряд простих запитань, користувач отримує рекомендації по вибору технології вирощування соняшника.

Однією з найважливіших задач при аналізі предметної області є визначення функцій системи.

На основі аналізу функціональної структури процесу вибору агротехнології вирощування соняшнику розроблена функціональна модель за методологією IDEF0. Контекстна діаграма функціональної моделі наведена на рисунку 3.



Рис. 3. Контекстна діаграма IDEF0 системи

Функціональна модель IDEF0 представляє собою структурне зображення функцій процесу проектування інформаційної системи. Вхідною інформацією для системи є технічне завдання на розробку експертної системи. В якості керуючої інформації в системі пропонується використовувати нормативно-технічні документи (галузеві стандарти, положення, акти).

Основним результатом процесу проектування є сама ІДС (на основі експертної) на прикладі вирощування соняшника. Механізмом для здійснення функцій проектування виступають спеціалісти та програмні продукти. На діаграмі другого рівня (рис. 4) представлена декомпозиція контекстної діаграми, що включає функціональні блоки, в яких відображена методична база, на основі якої виконуються задачі проектування експертної системи.

### **7 етап. Виконання декомпозиції діаграми IDEF0.**

IDEF0 - це методологія графічного опису систем і процесів діяльності організації як безлічі взаємозалежних функцій. Вона дозволяє досліджувати функції організації, не пов'язуючи їх з об'єктами, що забезпечують їх реалізацію. У стандарті IDEF0 за допомогою входу показують об'єкти - інформаційні та матеріальні потоки, які перетворюються в бізнес-процесі. За допомогою управління показуються об'єкти - матеріальні та інформаційні потоки, які перетворюються на процесі, по потрібні для його виконання.

Використовуючи механізми IDEF0 можна відображати інструменти та ресурси, за допомогою яких бізнес-процес реалізується (наприклад, технічні засоби, люди, інформаційні системи, тощо).

Декомпозиція контекстної діаграми необхідна для того, щоб встановити основні етапи проектування експертної системи.

Вхідною інформацією для функціонування даної системи є задача вибору та дані для вирішення задачі. Робота з системою виконується експертами та користувачами. Експерт в області технології вирощування соняшника аналізує факти, формує ряд питань, за якими буде сформована база знань. Вихідною інформацією є видача рекомендацій для користувача.

При більш детальному розгляді основної задачі експертної системи про вибір агротехнології вирощування соняшника, виділені наступні підзадачі:

- вибір напрямку вирощування;
- вибір ґрунту;
- вибір періоду дослідження;
- вибір регіону посадки.

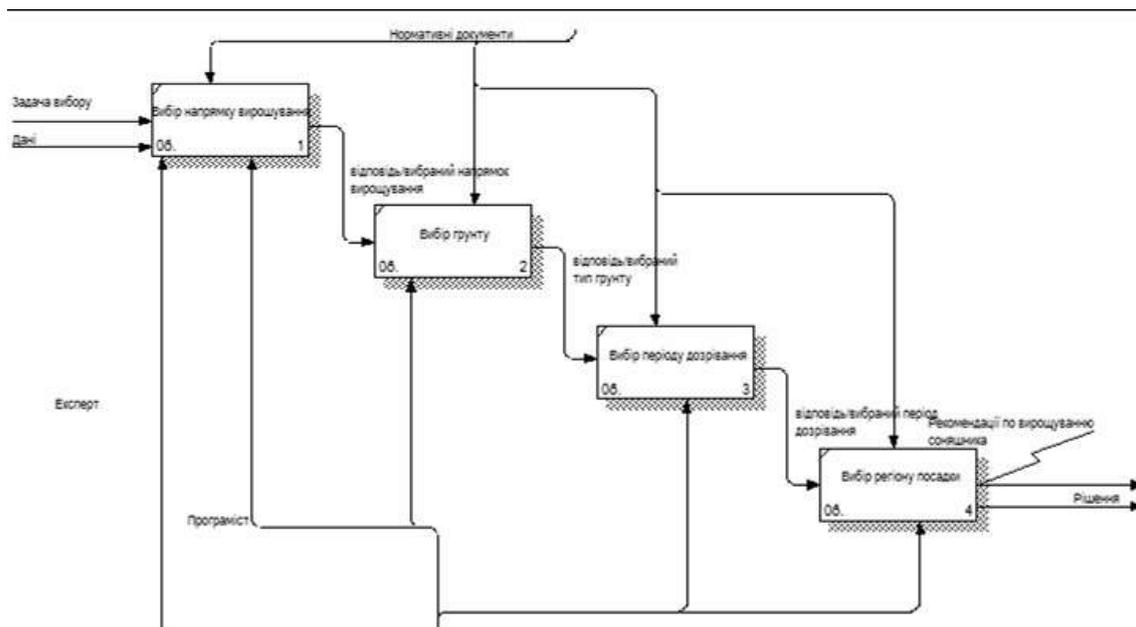


Рис. 4. Декомпозиція діаграми IDEF0 системи

### **8 етап. Визначення найбільш вагових вхідних факторів системи.**

Для кожного з вхідних критеріїв (факторів) визначаються найбільш вагомі фактори, які впливають на процес вирощування соняшника.

### **9 етап. Визначення основних продукційних правил системи.**

Визначаються основні продукційні правила, за якими буде проводитися програмування системи, а саме модулю логічної обробки



знань, для даної технології. Це і є вхідними параметрами (факторами) при проектуванні експертної системи.

*Продукційні правила для даної ЕС наступні:*

Правило №1: якщо брати напрямок вирощування, то вказати, який саме напрямок: соняшникова олія, насіння соняшнику, біопаливо;

Правило №2: якщо висаджувати культуру у ґрунті певного типу, то вказати в якому самому ґрунті: у чорноземі; у піщаному; у степному;

Правило №3: якщо висаджувати певний вид культури, то вказати який саме: сорт чи гібрид;

Правило №4: якщо висаджувати сорти та гібриди культури з певним часом дозрівання, то вказати, якого саме часу: ранньостиглі; середньорані; середньостиглі; середньопізні;

Правило №5: якщо висаджувати сорти культури в певному регіоні, то вказати, якого саме: південь; північ; схід; захід.

**10 етап. Визначення основних вихідних даних системи.**

Визначаються основні вихідні дані системи, тобто що саме буде бачити користувач на виході після роботи системи: які рекомендації, поради, довідки, тощо.

Вихідними правилами (факторами або рекомендаціями) для даної експертної системи, яка розробляється, будуть наступні:

Рекомендація №1: рекомендовані сорти та гібриди соняшника;

Рекомендація №2: передбачена врожайність соняшника;

Рекомендація №3: заходи щодо захисту сходів соняшника;

Рекомендація №4: рекомендований полив соняшника;

Рекомендація №5: рекомендовані добрива соняшника;

Рекомендація №6: рекомендована сівзміна для соняшника.

**11 етап. Проектування інтерфейсу системи.**

Виконується проектування інтерфейсу користувача згідно поставленого технічного завдання на розробку системи. Визначається місце розташування основних елементів меню, кнопок, вікон, тощо.

**12 етап. Врахування додаткових вимог до системи.**

Додатково (за необхідністю або за вимогою заказчика) на формі експертної системи проектуються додаткові кнопки або вікна для більш зручного її використання. Наприклад – кнопки очищення вікон, кнопка зберігання рекомендацій у окремий текстовий файл, кнопка виходу з системи, тощо.

**13 етап. Проектування самої системи (етап кодування).**

Програміст системи виконує розробку системи на мові програмування C# за допомоги середовища Visual Studio 2018.

Для даної системи у відповідності зі всіма попередніми етапами проектування було спроектовано та розроблено ІДС для рослинництва на прикладі вирощування соняшника.

Вся головна форма (WindowsFormsApplication1) розробленого проекту складається з декількох базових блоків, а саме (рис. 5):

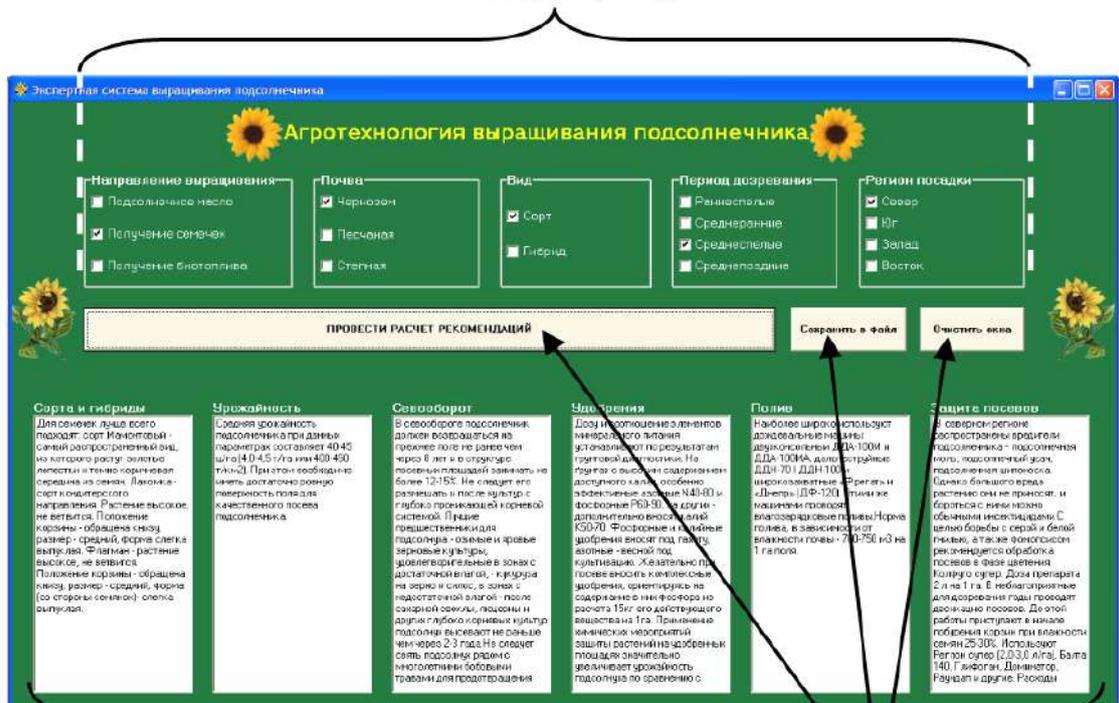
- 1) блок вхідних параметрів (зверху форми);
- 2) керуючі кнопки (посередині форми);
- 3) блок вихідних факторів (знизу форми).

Результат роботи системи логічного виведення експертної системи приведено на рисунках 6 та 7 у вигляді результуючих збережених на диску тестових файлів.

#### 14 етап. Тестування системи.

Зазвичай проводять тестування зробленої системи експертом, користувачами та заказником. У разі потреби виконується доведення та редагування інтерфейсу або коду до виконання всіх вимог.

Блок вхідних факторів



Блок вихідних факторів (рекомендації)

Керуючі кнопки

Рис. 5. Головна форма розробленої системи

Проведена верифікація даної системи показала повну відповідність результатів всіх поточних етапів розробки ЕС умовам, сформованим на початку кожного етапу. Тестування розробленого програмного забезпечення показало, що створена система працює швидко, якісно та без підвисань.

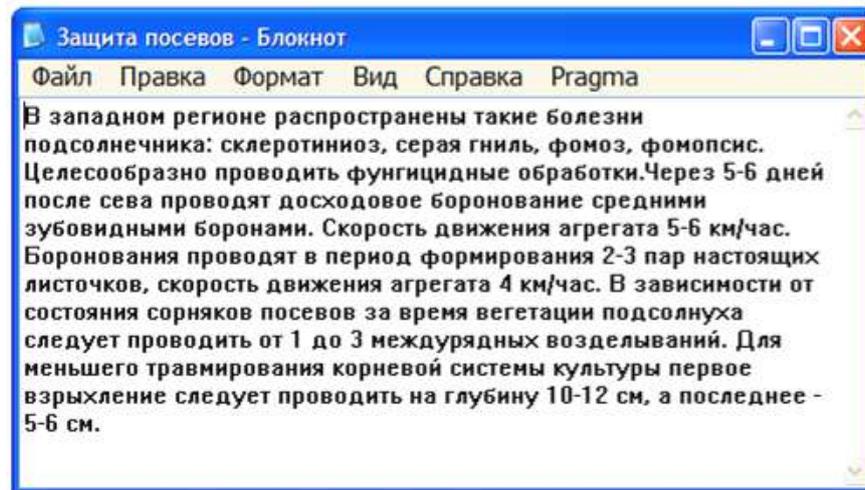


Рис. 6. Результат роботи системи логічного виведення системи (файл про захист сходів)

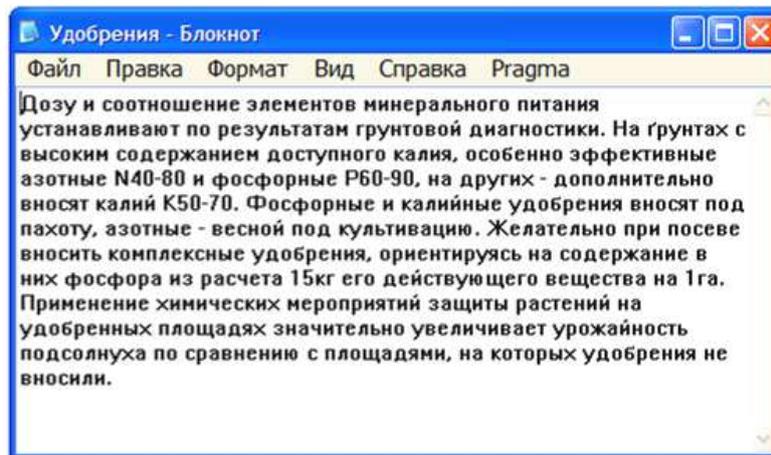


Рис. 7. Результат роботи системи логічного виведення системи (файл про добрива для культури)

**15 етап.** *Завершення проектування системи та надання заказнику.*

Завершення проектування та прийняття готової розробленої системи заказником від програміста та її виправлення у роботу та користування.

**16 етап.** *Супроводження системи (за вимогою).*

За вимогою заказника може бути проведено етап супроводження розробленої системи експертом або програмістом (або обом зразу) для того щоб в подальшому проводити періодичне редагування системи у разі потреби. Зазвичай ця процедура оплачується окремо від всіх інших вищенаведених кроків.

**Висновки.** Була розроблена інформаційно-довідкова система агронома, яка дозволила швидко, якісно та без фінансових витрат на



поради фахівців-експертів з соняшника збільшити врожайність соняшника на підставі точних агро рекомендацій з його вирощування. Також це підвищує і якість отриманої продукції. Все це в свою чергу дозволить збільшити товарообіг та продаж продукції, зменшити витрати на агротехнологію при його вирощуванні, зберігати час агроному при виборі раціональних параметрів вирощування та збирання, що в свою чергу підвищить усі економічні показники певного приватного господарства та принесе йому значні прибутки.

На нашу думку, виробництво соняшнику в нашій країні є досить перспективним, але для подальшого його розвитку необхідно враховувати певні особливості. Одним із шляхів підвищення ефективності виробництва соняшнику є впровадження сучасних технологій виробництва соняшнику й зокрема, велике значення має застосування ресурсозберігаючих технологій і на цій основі ріст урожайності. Впровадження у виробництво інтенсивних технологій сприятиме вищим темпам росту урожайності порівняно з темпами збільшення витрат, що дасть змогу знизити собівартість одиниці продукції.

Вважаємо, що для підвищення економічної ефективності виробництва та переробки насіння соняшнику є різнобічною проблемою. Її рішення вимагає тільки комплексного розв'язання економічних, організаційних і агротехнічних питань, які дозволять забезпечити суттєве зростання обсягу виробництва, підвищення якості насіння і, як наслідок, підвищення конкурентоспроможності.

#### Список використаних джерел

1. Zabolotko O.O. Performance indicators of farm equipment. *Proceedings of the IV International Scientific and Technical Conference «Kramar Readings»*. 2017. Pp. 155–158.
2. Boltyanskyi B. Research of the cereal materials micronizer for fodder components preparation in animal husbandry. *Modern Development Paths of Agricultural Production*. Springer Nature Switzerland AG. 2019. Pp. 249-258.
3. 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.
4. Sklar O. G. Fundamentals of designing livestock enterprises: a textbook. Kyiv: Condor Publishing House. 2018. 380 p.
5. Boltyanskaya N. I. The dependence of the competitiveness of the pig industry from it-chnology parameters of productivity of the animals. *Bulletin of Kharkov national University-University of agriculture after Petro Vasilenko*. Kharkov. 2017. Vol. 18. Pp.81-89.





6. Sklar O. Mechanization of technological processes in animal husbandry: textbook. manual. Melitopol: Color Print. 2012. 720 p.
7. Skliar R. 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.
8. Соняшник. *Вікіпедія. Вільна енциклопедія*. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Соняшник> (дата звернення: 12.10.2020).
9. Бахчиванжи Л. А., Дяченко Л. Е., Почколіна С. В. Сучасний стан і перспективи виробництва соняшника в Україні. *Вісник соціально-економічних досліджень*. 2013. № 4. С. 9-14.
10. Ільчук М. М. Тенденції виробництва насіння соняшнику в Україні: проблеми та перспективи. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Економіка, аграрний менеджмент, бізнес*. 2013. № 181 (4). С. 187-193.
11. Кононенко В. А., Барбінягра О. М. Облік витрат та ефективність виробництва соняшнику в сільськогосподарських підприємствах. *Молодий вчений*. 2016. № 7. С. 59-62.
12. Шовть Ю. Ю., Ільків Л. А. Формування ефективного виробництва соняшнику в Україні. *Молодий вчений*. 2015. № 12 (2). С. 184-187.
13. Шаров С. В., Лубко Д. В. Розробка інтелектуальної інформаційної системи для птахівництва. *Системи обробки інформації*. Харків, 2017. Вип. 4 (150). С. 170-174.
14. Лубко Д. В. Проектування довідкової інтелектуальної експертної системи. для вівчарства у приватних господарствах країни. *Ukrainian Journal of Educational Studies and Information Technology*. 2017. Vol. 5, № 3. P. 1–18.
15. Лубко Д. В., Зінов'єва О. Г. Проектування та розробка експертної системи діагностування несправностей транспортних засобів. *Системи обробки інформації*. 2019. № 1(156). С. 15-21. DOI: 10.30748/soi.2019.156.02.

**РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ДОВІДКОВОЇ СИСТЕМИ  
АГРОНОМА ДЛЯ ЕФЕКТИВНОГО ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКА В  
УКРАЇНІ**

**Лубко Д.В., Зінов'єва О.Г., Шаров С.В.**

*Анотація*

У статті виконана розробка інформаційно-довідкової системи агронома для ефективного вирощування соняшника в Україні. Також була розроблена методологія проектування даної експертної системи. Було проаналізовано, що потрібно виконати як мінімум 16 етапів для успішного проектування даної системи. Проектування даної системи було виконано у середовищі Visual Studio 2018, за допомогою мови програмування C#.



Дана система реалізує всі поставлені задачі, а саме: відповідає вимогам кроссплатформності; має простий, зручний та логічний інтерфейс; на основі створеної бази знань користувачу надаються відповідні рекомендації з даної предметної області.

Ця спроектована система може бути розширена, перероблена та збільшено її об'єм бази знань для використання у суміжних напрямках рослинництва.

**Ключові слова:** експертна система, рослинництво, програмування, методологія, соняшник, фактори, інтерфейс системи.

## РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННО-СПРАВОЧНОЙ СИСТЕМЫ АГРОНОМА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УКРАИНЕ

Лубко Д.В., Зиновьева О.Г., Шаров С.В.

### *Аннотация*

В статье выполнена разработка информационно-справочной системы агронома для эффективного выращивания подсолнечника в Украине. Также была разработана методология проектирования данной экспертной системы. Было проанализировано, что нужно выполнить как минимум 16 этапов для успешного проектирования данной системы. Проектирование данной системы было выполнено в среде Visual Studio 2018, с помощью языка программирования C#.

Данная система реализует все поставленные задачи, а именно: соответствует требованиям кроссплатформности; имеет простой, удобный и логичный интерфейс; на основе созданной базы знаний пользователю предоставляются соответствующие рекомендации по данной предметной области.

Эта спроектированная система может быть расширена, переработанная и увеличению ее объем базы знаний для использования в смежных направлениях растениеводства.

**Ключевые слова:** экспертная система, растениеводство, программирование, методологія, подсолнечник, факторы, интерфейс системы.

## DEVELOPMENT OF THE INFORMATION AND REFERENCE SYSTEM OF AGRONOMIST FOR EFFECTIVE CULTIVATION OF SUNFLOWER IN UKRAINE

Lubko D., Zinovieva O., Sharov S.

### *Summary*

One of the most important segments of the country food market is the sunflower market, the functioning of which is determined by both general market laws and regularities as well as its specific features.

Sunflower is a quite common technical and agricultural crop, that is widely cultivated in the south of Ukraine, also it is the main oil crop in Ukraine. The sunflower seed production growth is expected on the basis of increasing yields with the advanced technologies implementation for growing the crop, the use of new high-yielding hybrids and the application of science-based crop rotations.

The most important factor for increasing sunflower production is its yield growth, and for this purpose we propose to develop a specialized information and reference (also known as expert) software, local system.

Agronomist information and reference system has been developed. A methodology for designing this system has also been developed. It has been analyzed that at least 16



steps need to be performed to design this system successfully. The design of this system was performed in Visual Studio 2018 with the help of the programming language C#. The information system implements all the tasks, namely, meets the requirements of cross-platform; has a simple, user-friendly and logical interface; on the basis of the created knowledge base the user is provided with appropriate recommendations in this subject area. The designed system can be expanded, redesigned, and its knowledge base increased for use in related areas of crop production.

This system allows to increase sunflower yield quickly, efficiently and without financial cost using the accurate agro recommendations for its growing. It also improves the products quality. All these, in turn, will enable to increase turnover and sales, reduce the cost of agricultural technology in its cultivation, save the agronomist time on choosing rational parameters of cultivation and harvesting, that will in turn increase all economic indicators of a private economy and bring significant profits.

**Keywords:** expert system, crop production, programming, methodology, sunflower, factors, system interface.



УДК 378.146

DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-29

## ФОРМУВАННЯ ЗВІТНОСТІ З УСПІШНОСТІ ТА ВІДВІДУВАНOSTІ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ СТУДЕНТАМИ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ MOODLE

Нестеренко Є. В., асист.

ORCID: 0000-0002-2746-9517

*Таврійський державний агротехнологічний університет  
імені Дмитра Моторного*

e-mail: ye.nesterenko@tsatu.edu.ua

*Постановка проблеми.* В умовах змішаної форми навчання можливість спілкуватися з викладачем, отримувати завдання до самостійної роботи та підтримувати зворотний зв'язок є рішенням актуальних проблем навчання, а доступність Інтернету робить дистанційне навчання більш поширеним [1-3]. Засобами реалізації розробки, управління та поширення навчальних матеріалів он-лайн виступають системи управління навчальною діяльністю. Однією з таких систем є Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment – модульне об'єктно-орієнтоване динамічне навчальне середовище) аудиторія якої нараховує мільйони користувачів, що робить її однією з найбільш широко використовуваних навчальних платформ у світі. База даних додаткових модулів розташована на основному сайті Moodle та містить понад 1700 модулів різних категорій. Завдяки такому розширюванню доступних функцій з'являється можливість вирішити проблему стеження за успішністю студентів нестандартними методами.

*Аналіз останніх досліджень.* Проблемам впровадження технологій дистанційного навчання присвячено дослідження вітчизняних та закордонних науковців: Педагогічне й інформаційне забезпечення дистанційного навчання вивчали С. Литвинова, Г. Фесакіс, Ч. Софроній, Е. Мавроді, В. Биков, Н. Болтянська та ін. [1-6]. Існуючі публікації з формування звітності з успішності та відвідуваності електронних навчальних курсів пропонують складні комплексні рішення у яких звітність з успішності та відвідування є тільки їх частиною, а не самостійною функцією яку можна реалізувати окремо, і потребує реалізації рішення у повному обсязі, що підходить у разі відсутності окремого електронного журналу обліку успішності.

*Формулювання цілей статті.* Метою статті є розгляд застосування модулю створення звітів в поєднанні з вбудованими функціональними

можливостями для формування звітності з успішності та відвідуваності електронних навчальних курсів студентами закладу освіти на базі платформи Moodle.

*Основна частина.* В першу чергу слід визначитися з тим які посадові особи та структурні підрозділи будуть задіяні в роботі зі звітами. У даній статті розглянуті два варіанти: деканат (для формування звіту за фахом) і куратор (для формування звіту по академічній групі). Далі формуються необхідні запити до бази даних платформи Moodle на декларативній мові SQL, які зручно протестувати за допомогою такого програмного забезпечення як MySQL Workbench. Проаналізувавши схему бази даних [7,8] сформовано запити, які відображають наступну інформацію: Назва дисципліни; академічна група; ПІБ студента; час останнього входу до електронного навчального курсу; прогрес проходження курсу в процентному еквіваленті, який розраховується діленням значення поля `finalgrade` (набраних балів, з урахуванням всіх додаткових розрахунків, в поточний момент часу) на значення поля `rawgrademax` (максимально можливу кількість балів, яку можна отримати). Схему зв'язку між даними застосованих таблиць зображено на рисунку 1.

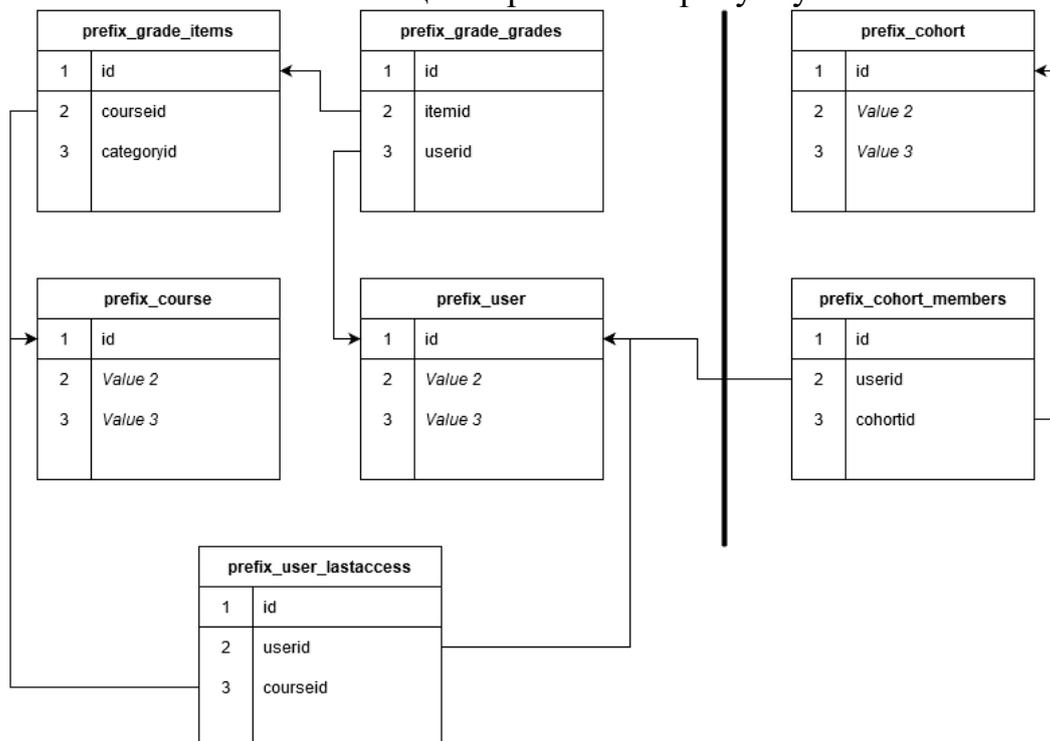


Рис. 1. Схema зв'язку між даними таблиць

Слід звернути увагу, що на прогрес проходження мають вплив такі налаштування журналу оцінок курсу як «Значимість» елемента оцінювання (наприклад, тестового завдання), яка використовується для визначення важливості елемента оцінювання у порівнянні з іншими елементами [9-11], та «Враховувати тільки непорожні оцінки» - це налаштування визначає, чи порожні оцінки не будуть включатися в



загальний результат, чи вважатимуться мінімальними оцінками, наприклад, 0 [12,13].

Для взаємодії з базою даних платформи Moodle через веб-інтерфейс та формування звітів на основі SQL-запитів використовується модуль Configurable reports [8], який також дозволяє застосовувати фільтри, логічні умови та дозволи, графіки, шаблони звітів та їх експорт у такі формати як xlsx та csv. Доступ до розділу керування звітами здійснюється через додавання блоку «Configurable Reports» до інформаційної сторінки користувача. При створенні нового SQL-звіту слід змінити у запиті префікс таблиць за замовчуванням «mdl\_» на «prefix\_» та додати необхідні фільтри: FILTER\_SUBCATEGORIES – для вибірки даних за фахом (рис. 2) та FILTER\_SEARCHTEXT – для вибірки даних за вказаною академічною групою (рис. 3).

View report | Custom SQL | Filters | Template | Permissions | Calculations | Plot - Graphs | Report | Manage reports

Filter

Category: Механіко-технологічний факультет / Галузеве машинобудування / Магістратура

Apply Cancel

Show 10 entries Search:

course_category	course	course_sname	cohort	lastname	firstname	time access	max grade	current grade	final grade
1 курс, 1 семестр	Тестовий курс	TK_1905	11A	Петров	Петро	2020-07-14 16:06:34	100.00	60.00	60.00
1 курс, 1 семестр	Тестовий курс	TK_1905	12B	Іванов	Іван		100.00	78.00	78.00

Showing 1 to 2 of 2 entries Total record count = 2 Execution time = 0.001 (Sec)

Рис. 2. Вибірка даних за фахом

View report | Custom SQL | Filters | Template | Permissions | Calculations | Plot - Graphs | Report | Manage reports

Filter

Filter: 11A

Apply Cancel

Show 10 entries Search:

lastname	firstname	course	course_sname	time access	current grade	max grade	final grade
Петров	Петро	Тестовий курс	TK_1905	2020-07-14 16:06:34	60.00	100.00	60.00

Showing 1 to 1 of 1 entries Total record count = 1 Execution time = 0.002 (Sec)

Рис. 3. Вибірка даних за академічною групою

Вказані вище запити зображено на рисунках 4 та 5, відповідно.

```
SELECT
cc.name as 'курс_семестр',
c.fullname as 'дисципліна',
c.shortname as 'скор_назва',
ch.name as 'група',
u.lastname as 'прізвище',
u.firstname as 'ім я',
from_unixtime(la.timeaccess) as 'останній_вхід',
ROUND(g.rawgrademax, 2) as 'макс_бал',
ROUND(g.finalgrade, 2) as 'поточна_оцінка',
ROUND(((g.finalgrade/g.rawgrademax)*100), 2) as
'підсумкова_оцінка'

FROM
prefix_course_categories as cc

JOIN prefix_course as c ON cc.id = c.category AND c.visible
= 1
%%FILTER_SUBCATEGORIES:cc.path%%
JOIN prefix_grade_items as gi ON c.id = gi.courseid AND
gi.itemtype = 'course'
JOIN prefix_grade_grades as g ON gi.id = g.itemid
JOIN prefix_user as u ON g.userid = u.id
JOIN prefix_cohort_members as cm ON u.id = cm.userid
JOIN prefix_cohort as ch ON cm.cohortid = ch.id AND ch.name
!= "Викладачі"
LEFT JOIN prefix_user_lastaccess as la ON c.id =
la.courseid AND u.id = la.userid

ORDER BY
ch.name, u.lastname, cc.name
```

Рис. 4. Запит на вибірку даних за фахом

Задіяним у роботі зі звітами співробітникам була створена окрема роль [13,14] з правами:

- block/configurable\_reports:myaddinstance
- block/configurable\_reports:viewreports

яка дозволяє переглядати, завантажувати або друкувати вже існуючі звіти (рис. 6).

Завдяки можливості обирати формат експорту, звіт може бути завантажений у форматі *xlsx* для подальшої роботи з ним у Microsoft Excel (рис. 7). У разі використання іншого формату фільтр *FILTER\_ENDTIME* дозволить відібрати тільки тих студентів, які останній раз відвідували навчальний курс до вказаної дати.

```
SELECT
cc.name as 'курс_семестр',
c.fullname as 'дисципліна',
c.shortname as 'скор_назва',
ch.name as 'група',
u.lastname as 'прізвище',
u.firstname as 'ім я',
from_unixtime(la.timeaccess) as 'останній_вхід',
ROUND(g.rawgrademax, 2) as 'макс_бал',
ROUND(g.finalgrade, 2) as 'поточна_оцінка',
ROUND(((g.finalgrade/g.rawgrademax)*100), 2) as
'підсумкова_оцінка'

FROM
prefix_course_categories as cc

JOIN prefix_course as c ON cc.id = c.category AND c.visible = 1
%%FILTER_SUBCATEGORIES:cc.path%%
JOIN prefix_grade_items as gi ON c.id = gi.courseid AND
gi.itemtype = 'course'
JOIN prefix_grade_grades as g ON gi.id = g.itemid
JOIN prefix_user as u ON g.userid = u.id
JOIN prefix_cohort_members as cm ON u.id = cm.userid
JOIN prefix_cohort as ch ON cm.cohortid = ch.id AND ch.name !=
"Викладачі"
LEFT JOIN prefix_user_lastaccess as la ON c.id = la.courseid AND
u.id = la.userid

ORDER BY
ch.name, u.lastname, cc.name
```

Рис. 5. Запит на вибірку даних за академічною групою

Блок: Configurable Reports					
<a href="#">Add a new configurable reports block</a> block/configurable_reports:addinstance	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	 
<a href="#">Manage own reports</a> block/configurable_reports:manageownreports	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<a href="#">Manage reports</a> block/configurable_reports:managereports	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<a href="#">Manage SQL reports</a> block/configurable_reports:managesqlreports	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	
<a href="#">Add a new configurable reports block to MY HOME page</a> block/configurable_reports:myaddinstance	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	 
<a href="#">View reports</a> block/configurable_reports:viewreports	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	

Рис. 6. Налаштування прав окремої ролі користувача



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	course_category	course	course_sname	cohort	lastname	firstname	time access	max grade	current grade	final grade
2	1 курс, 1 семестр	Тестовий курс	ТК_1905	11А	Петров	Петро	2020-07-14 16:06:34	100.00	60.00	60.00
3	1 курс, 1 семестр	Тестовий курс	ТК_1905	12В	Іванов	Іван		100.00	78.00	78.00
4										
5										

Рис. 7. Експортований звіт формату xlсх

*Висновки.* Отже, модуль формування звітів Configurable reports у поєднанні з можливістю створювати окремі ролі з чітким розділенням прав дає можливість значно скоротити час на отримання та обробку інформації з успішності та відвідуваності електронних навчальних курсів студентами закладу освіти. Слід зазначити, що представлена в статті інформація не є вичерпною. Додаткові функції модуля і можливості мови SQL дають широке поле для експериментів і дозволяють підлаштуватися під будь-яку структуру сайту на платформі Moodle.

Список використаних джерел

1. Биков В. Ю. Хмарна комп'ютерно-технологічна платформа відкритої освіти та відповідний розвиток організаційно-технологічної будови ІТ-підрозділів навчальних закладів. *Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія*. 2013. № 1. С. 81-98.

2. Болтянський О. В. Застосування інноваційних технологій при викладанні у сучасному вищому навчальному закладі, як фактору формування професійних компетентностей майбутніх фахівців. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в вищому навчальному закладі*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 20. С. 39-42.

3. Литвинова С. Г. Хмарні технології в управлінні дошкільними навчальними закладами. URL: [http://www.ruobolon.kiev.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=979:2013-06-12-18-4453&catid=69:obolon-365&Itemid=91](http://www.ruobolon.kiev.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=979:2013-06-12-18-4453&catid=69:obolon-365&Itemid=91) (дата звернення: 21.10.2020).

4. Fesakis G., Sofroniou C., Mavroudi E. Using the internet for communicative learning activities in kindergarten: The case of the «Shapes Planet». *Early Childhood Education Journal*. 2011. Vol. 38, № 5. P. 385-392. URL: <https://eric.ed.gov/?id=EJ912451> (дата звернення: 21.10.2020).

5. Болтянська Н. І. Застосування інноваційних технологій при викладанні у сучасному вищому навчальному закладі, як фактору формування професійних компетентностей майбутніх фахівців. *Удосконалення освітньо-виховного процесу в вищому навчальному закладі*. Мелітополь: ТДАТУ, 2017. Вип. 20. С. 39-42.

6. Болтянська Н. І. Проведення експертизи якості знань в системі підготовки бакалаврів у ТДАТУ. *Удосконалення освітньо-*



*виховного процесу в вищому навчальному закладі*. Мелітополь: ТДАТУ, 2018. Вип. 21. С. 36–40.

7. Moodle – Open-source learning platform. URL: <https://moodle.org/> (дата звернення: 21.10.2020).

8. Moodle plugins directory. URL: <https://moodle.org/plugins/> (дата звернення: 21.10.2020).

9. Moodle 3.8 database schema. URL: <https://www.examulator.com/er/output/index.html> (дата звернення: 21.10.2020).

10. Moodle Documentation: Grades FAQ. URL: [https://docs.moodle.org/39/en/Grades\\_FAQ](https://docs.moodle.org/39/en/Grades_FAQ) (дата звернення: 21.10.2020).

11. Moodle Documentation: Grade. URL: [https://docs.moodle.org/39/en/Grade\\_categories](https://docs.moodle.org/39/en/Grade_categories) (дата звернення: 21.10.2020).

12. Moodle Documentation: Moodle Configurable reports plugin. URL: [https://docs.moodle.org/39/en/Configurable\\_reports](https://docs.moodle.org/39/en/Configurable_reports) (дата звернення: 21.10.2020).

13. Moodle Documentation: Creating custom roles. URL: [https://docs.moodle.org/39/en/Creating\\_custom\\_roles](https://docs.moodle.org/39/en/Creating_custom_roles) (дата звернення: 21.10.2020).

14. Moodle Documentation: Roles and permissions. URL: [https://docs.moodle.org/39/en/Roles\\_and\\_permissions](https://docs.moodle.org/39/en/Roles_and_permissions) (дата звернення: 21.10.2020).

## **ФОРМУВАННЯ ЗВІТНОСТІ З УСПІШНОСТІ ТА ВІДВІДУВАНOSTІ ЕЛЕКТРОННИХ НАВЧАЛЬНИХ КУРСІВ СТУДЕНТАМИ ЗАКЛАДУ ОСВІТИ НА БАЗІ ПЛАТФОРМИ MOODLE**

**Нестеренко Є.В.**

### *Анотація*

В статті розглянуто використання додаткового модулю створення звітів бази даних платформи дистанційного навчання Moodle «Configurable Reports», який дозволяє виконувати власні запити створені за допомогою «SQL» (Structured Query Language) - декларативної мови програмування для взаємодії користувача з базами даних, в поєднанні з вбудованими функціональними можливостями цієї платформи для формування звітності з успішності та відвідуваності електронних навчальних курсів студентами закладу освіти, що значно скоротить збір і аналіз необхідної інформації у зручному, в конкретному випадку, вигляді. Також розглянуто можливість розмежування прав доступу до запитів, результати виконання яких є вихідними даними для формування звітів, та вплив налаштувань журналу оцінок конкретної дисципліни на розрахунок кількості набраних балів, зокрема на поточний момент часу.

**Ключові слова:** дистанційне навчання, успішність, звітність, модуль, Moodle.



## **ФОРМИРОВАНИЕ ОТЧЕТНОСТИ ОБ УСПЕШНОСТИ И ПОСЕЩАЕМОСТИ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНЫХ КУРСОВ СТУДЕНТАМИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧРЕЖДЕНИЙ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ MOODLE**

**Нестеренко Е.В.**

### *Аннотация*

В статье рассмотрено использование дополнительного модуля создания отчетов базы данных платформы дистанционного обучения Moodle «Configurable Reports», который позволяет выполнять собственные запросы созданные с помощью «SQL» (Structured Query Language) - декларативного языка программирования для взаимодействия пользователя с базами данных, в сочетании со встроенными функциональными возможностями этой платформы для формирования отчетности по успеваемости и посещаемости электронных учебных курсов студентами учебного заведения, что значительно сократит сбор и анализ необходимой информации в удобном, в конкретном случае, виде. Также рассмотрена возможность разграничения прав доступа к запросам, результаты выполнения которых являются исходными данными для формирования отчетов, и влияние настроек журнала оценок конкретной дисциплины на расчет количества набранных баллов, в частности на текущий момент времени.

**Ключевые слова:** дистанционное обучение, успеваемость, отчетность, модуль, Moodle.

## **GENERATION OF REPORTS ON THE SUCCESS AND ATTENDANCE OF E-LEARNING COURSES BY STUDENTS ON THE BASIS OF THE MOODLE PLATFORM**

**Nesterenko Ye.**

### *Summary*

An article considered the use of a plugin of the distance learning platform Moodle "Configurable Reports" in combination with built-in functionality of this platform for generating reports on the progress and attendance of e-learning courses by students of an educational institution, which will significantly reduce the collection and analysis of the necessary information in a convenient, in a particular case, form. This plugin is designed for creating database reports, which allows you to execute your own queries created using "SQL" (Structured Query Language) - a declarative programming language for user interaction with databases. Given the flexibility of this approach, you can create any queries, including calculations, for example, final grades, and apply necessary filters are included in the plugin for a more accurate selection of data, namely: search by key phrase; selection by category, course, date, user profile field, etc. The use of this method of collecting information is especially appropriate in the context of individual and dual forms of education, as well as in case of unforeseen situations, for example, distance learning in the quarantine conditions.

Also considered the granting access rights to requests, the results of which are the initial data for generating reports, to determine officials and structural units that will be involved in working with them, and the influence of the settings of the grades journal of a particular discipline on the calculation of scored points, in particular at the current time. Some features of custom SQL-requests adaptation for their correct processing by the plugin are also considered. A plugin supports exporting data to formats such as .csv, json, .ods and .xls, which allows you to further process the received data by third-party programs.

**Key words:** distance education, progress, reporting, plugin, Moodle.

Електронне наукове фахове видання

**Науковий вісник**  
Таврійського державного агротехнологічного університету

Випуск 10, 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 8 грудня 2020 р. друк. Rizo.  
Друкарня ТДАТУ  
19,3 умов. друк. арк.