



Міністерство освіти і науки України
Ministry of Education and Science of Ukraine
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Higher Educational Institution «Podillia State University»



Інженерно-технічний факультет
Faculty of Engineering and Technology
Кафедра технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін
Department of Technical Service and General Technical Subjects

Варшавський університет природничих наук
Warsaw University of Life Sciences

Університет прикладних наук у Тарнові
University of Applied Sciences in Tarnow

Краківський сільськогосподарський університет імені Гуго Коллонтая
University of Agriculture in Krakow

Державна академія прикладних наук у Хелмі
State Academy of Applied Sciences in Chelm

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі
International Academy of Applied Sciences in Lomza

Інститут механіки та автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України
Institute of Mechanics and Automation of Agro-Industrial Production of the
National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

Вінницький національний аграрний університет
Vinnitsia National Agrarian University

«Сучасні технології та технічний сервіс:
ВИКЛИКИ І МОЖЛИВОСТІ»

«Modern Technologies and Technical Service:
Challenges and Opportunities»

ЗБІРНИК МАТЕРІАЛІВ **CONFERENCE PROCEEDINGS**

I Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції
1st International Scientific and Practical Internet Conference



16 жовтня 2025 року
October 16, 2025

м. Кам'янець-Подільський
Kamianets-Podilskyi

Рекомендовано до опублікування вченою радою Закладу вищої освіти «Подільський державний університет» (протокол № 12 від 31 жовтня 2025 року)

РЕЦЕНЗЕНТИ:

БАБІЙ Андрій, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри технічної механіки та сільськогосподарських машин Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя

ТКАЧ Олег, д-р с.-г. наук, канд. техн. наук, професор, професор кафедри землеробства, ґрунтознавства та захисту рослин Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

ІВАНОВСЬКА Алла Миколаївна – в.о. ректора Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор юридичних наук, професор

РАРИЦЬКА Вікторія Борисівна – перший проректор Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат юридичних наук

ЯСИНЕЦЬКА Ірина Анатоліївна – проректор з навчальної, науково-інноваційної та міжнародної діяльності Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доктор економічних наук, професор

BORUSIEWICZ Andrzej – проректор з наукової роботи та розвитку Міжнародної академії прикладних наук в Ломжі, доктор технічних наук, професор

PENKALA Piotr – директор Інституту технічних наук та авіації Державної академії прикладних наук у Хелмі, доктор з інженерії, доцент

SHARLOVYCH Zoia – продекан з міжнародної співпраці Міжнародної академії прикладних наук в Ломжі, кандидат педагогічних наук

STEFANOWICZ-KOCOL Anna – декан гуманітарного факультету, керівник міжнародного офісу університету прикладних наук у Тарнові, доктор філософії

ДУГАНЕЦЬ Василь Іванович – завідувач кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент

БОНЧИК Віталій Семенович – асистент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент

БОРАК Костянтин Вікторович – професор кафедри агроінженерії та технічного сервісу Поліського національного університету, заступник директора з навчальної роботи Житомирського агротехнічного фахового коледжу, доктор технічних наук, професор

БОРКОВСЬКА Валентина Вікторівна – начальник відділу міжнародного співробітництва, практики та академічної мобільності Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

ЗАГНІТКО Лариса Анатоліївна – завідувач науково-дослідної частини Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат економічних наук, доцент

КОМАРНИЦЬКИЙ Сергій Петрович – відповідальний з наукової та міжнародної діяльності інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», доцент кафедри транспортних технологій та засобів АПК, кандидат технічних наук, доцент

ОЛЕНЮК Олександр Анатолійович – доцент кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент

ПАНЦИР Юрій Іванович – декан інженерно-технічного факультету Закладу вищої освіти «Подільський державний університет», кандидат технічних наук, доцент

ЯРОПУД Віталій Миколайович – декан інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету, доктор технічних наук, доцент

С 78Сучасні технології та технічний сервіс: виклики і можливості: збірник матеріалів І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року). Кам'янець-Подільський: Заклад вищої освіти «Подільський державний університет», 2025. 290 с.

(Проведення конференції зареєстровано в Державній науковій установі «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації», посвідчення № 607 від 08 вересня 2025 р.)

Збірник містить наукові доповіді І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції (м. Кам'янець-Подільський, 16 жовтня 2025 року), питання новаторських стратегій розвитку технічного сервісу машин, ремонту і надійності машин, енергетики, енергетичних засобів та автоматизації, відновлювальної енергетики та теплоенергетики.

За зміст публікацій, достовірність інформації, цитат, покликань на літературні джерела відповідальність несуть автори.

ЗМІСТ
СЕКЦІЯ 1

НОВАТОРСЬКІ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН
INNOVATIVE STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL
SERVICE FOR MACHINES

БІЛЯНСЬКИЙ Дмитро, ДУГАНЕЦЬ Василь, CHOLUJ Marcin СЬОГОДЕННЯ ШВИДКОГО СТВОРЕННЯ НОВІТНЬОЇ ТЕХНІКИ	10
ВІЛІНСЬКИЙ Назар, ВОЛИНКІН Микола ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТРАКТОРІВ ТА АВТОМОБІЛІВ	14
ГОВОРОВ Олександр, ДУГАНЕЦЬ Віктор ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ ЯК ДОБАВКИ ДО ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ	17
ГУНЬКА Ростислав, ГОВОРОВ Олександр, LONKWIC Pawel ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ВІДДАЛЕНОЇ ДІАГНОСТИКИ	20
ДИКИЙ Андрій, ГРУШЕЦЬКИЙ Сергій, CHOLUJ Marcin СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН	23
ДУГАНЕЦЬ Роман, ПАНЦИР Юрій РОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ В УКРАЇНІ ТА НА МІЖНАРОДНІЙ АРЕНІ	27
КОЛОМІЙЧЕНКО Андрій, МЕЛЬНИК Віталій ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	31
КУЛИКІВСЬКИЙ Володимир, БОРОВСЬКИЙ Віктор ПРОГРАМНО-ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ	35
ПАРФЕНЮК Євген, ТИМОЩУК Михайло, СИРОЇД Євгеній ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ У ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ	38
ФІЛЕНКО Валентин, ДУГАНЕЦЬ Віктор ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ПРОФЕСІЙНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ СУЧАСНОГО ВИКЛАДАЧА АГРАРНО-ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ	43

ФОРМАЗЮК Іван, ПУКАС Віталій

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ.....47

ШЕШЕНЯ Олександр, ЧМИР Віктор

ДОСВІД ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ДЕРЖАВ-ЧЛЕНІВ НАТО ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНСЬКИЙ ОБОРОННО-ПРОМИСЛОВИЙ КОМПЛЕКС.....51

СЕКЦІЯ 2

НАУКА І ПРАКТИКА: ШЛЯХ ВІД РЕАЛІЙ ДО ПЕРСПЕКТИВ SCIENCE AND PRACTICE: THE PATH FROM REALITIES TO PROSPECTS

БИСТРИЦЬКИЙ Богдан, КУШИМ Роман, ЗІНЧЕНКО Роман, КУЛИКІВСЬКИЙ Володимир

РОБОЧІ ОРГАНИ СІВАЛОК ДЛЯ ПРЯМОГО ПОСІВУ.....55

ВОЛЬСЬКИЙ Володимир, КОЦЮБАНСЬКИЙ Ростислав, ПОЛЬОВИЙ Богдан
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР З ВИКОРИСТАННЯМ ГРУНТООБРОБНО-УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ.....64

ВОЛЬСЬКИЙ Володимир, КОЦЮБАНСЬКИЙ Ростислав, ПОЛЬОВИЙ Богдан
КОНЦЕПЦІЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ І ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР.....67

ГЕРУК Станіслав

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ЧАСТОТНО МОДУЛЬОВАНИХ КОЛИВАНЬ НА ЗНЯТТЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ.....71

ГЕРУК Станіслав

ПОСІВНІ АГРЕГАТИ КУЛЬТИВАТОРНОГО ТИПУ.....75

ДОБРАНСЬКИЙ Сергій, БУЧКО Ігор

ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ.....80

ДЖЕДЖУЛА Олена

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ У ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ.....83

КОМІСАРЧУК Олександр, ДЕРЕВ'ЯНКО Дмитро

ПРИНЦИПОВА СХЕМА АГРЕГАТУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГРЕБЕНЕПОДІБНОГО ҐРУНТОВОГО ФОНУ З ПОШАРОВИМ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ РОЗПОДІЛОМ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ.....86

КУПЧУК Ігор

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ
І ЇХНЄ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ У ТВАРИННИЦТВІ.....90

КУШЛАК Андрій, ШЕЛУДЧЕНКО Леся, PENKALA Piotr

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І
СИСТЕМ.....94

ЛИСЮК Олександр, СЕНЧИЛО Максим, СМІК Віктор, БІЛЕЦЬКИЙ Віктор

ОСНОВНІ ВИДИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА
ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДДАХ ТА ЇХ КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ.....98

МЕЛЬНИК Олександр, СЕМЕНИШЕНА Руслана

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРАКТИКА У СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ
ТЕХНІКИ І ОБЛАДНАННЯ.....103

МОРОЗОВ Олександр, МІНЕНКО Сергій

КОМПОНУВАННЯ ЖАТКИ З ЛІНІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗА МІСЦЕМ
РОЗТАШУВАННЯ ДВОСТОРОННЬОГО ПЛОСКОГО ЛІНІЙНОГО
АСИНХРОННОГО ДВИГУНА.....106

НОНІК Денис, ДЕРЕВЯНКО Дмитро

ОБМОЛОТ ЗЕРНОВИХ І ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ
АКСІАЛЬНО-РОТОРНИХ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ.....111

ОВЧАРУК Олег, BORUSIEWICZ Andrzej

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ
АГРОДРОНІВ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ЗЗР.....116

ОЛІЙНИК Михайло, ІЛЬЧЕНКО Андрій

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ.....119

ОСТАФІЙЧУК Юрій, ФІРМАН Юрій

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ЧИННИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ
ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ.....127

ПАСТУХ Богдан, БОРИС Микола

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ.....130

ПОЛІЩУК Анастасія

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО НАВЧАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ
ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ: ВІД РЕАЛІЙ ДО ПЕРСПЕКТИВ.....133

ПОЛІЩУК Анастасія, SHARLOVYCH Zoia

РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНОЇ МАЙСТЕРНОСТІ ПЕДАГОГІВ У СИСТЕМІ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ: ВІД ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ ДО ПЕРСПЕКТИВ
СТАЛОГО ПРОФЕСІЙНОГО ЗРОСТАННЯ.....135

ПРИЩЕПА Володимир, САВЧЕНКО Василь ВИКОРИСТАННЯ ХОЛОДНИХ САМОРЕГУЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ХРОМОВИХ ПОКРИТТІВ.....	138
СІЛЕЦЬКИЙ Дмитро, АНДРІЙЧУК Артем, ГРУНИЦЬКИЙ Максим, КУЛИКІВСЬКИЙ Володимир ВЛАСТИВОСТІ ВОЛОГОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	142
СТЕЧИШИН Мирослав, МАШОВЕЦЬ Наталія, ПІДГАЙЧУК Світлана, КОРІННИЙ Антон ОЦІНКА УМОВ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ НА ТИТАНОВИХ СПЛАВАХ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ.....	147
STEFANOWICZ-KOCOL Anna TRANSLATING INNOVATION: CULTURAL PERSPECTIVES ON COMMUNICATING SCIENCE AND TECHNOLOGY.....	151
ЧЕРЕДНИК Сергій, КУСКОСЬКИЙ Олександр, ГРАБАР Іван СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА.....	156
ЯКИМЕНКО Роман, БОРАК Костянтин ОПТИЧНІ МЕТОДИ ТА СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ Й СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ.....	164

СЕКЦІЯ 3

РЕМОНТ МАШИН: ПРИНЦИПИ, ПІДХОДИ ТА ВИКЛИКИ MACHINE REPAIR: PRINCIPLES, APPROACHES AND CHALLENGES

АЛТУХОВ Петро ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ГРМ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ.....	173
БОНЧИК Віталій, HUTSOL Taras ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК.....	177
БОНЧИК Віталій, KUKHARETS Savelii ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ МІЖРЕМОНТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....	180
ГЕРУК Станіслав ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ.....	183

ГУТІКОВ Максим, ГОЛОВНЯ Сергій

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СИЛ ТА ЗАСОБІВ
РЕМОНТНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ В УМОВАХ
ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ
ЦИВІЛЬНИМ ОРГАНІЗАЦІЯМ НА ДОГОВІРНІЙ ОСНОВІ.....189

ДЕМЕНОК Михайло, ЧМИР Віктор

ДОСВІД ЗДІЙСНЕННЯ РЕМОНТУ МАШИН В ХОДІ УКРАЇНСЬКО–РОСІЙСЬКОЇ
ВІЙНИ В УКРАЇНІ.....192

КОПЧУК Богдан, БУРДЕГА Василь

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ЗУБІВ БОРОНИ.....195

ОЛЕНЮК Олександр, ОЛЕКСІЙКО Сергій

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФІЛЮВАННЯ
ГВИНТОВИХ СЕКЦІЙНИХ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ.....199

ПОЛІЩУК Дмитро

ПЕРЕВІРКА ТА РЕМОНТ ГІДРОКОМПЕНСАТОРІВ У СИСТЕМІ
ГАЗОРОЗПОДІЛУ.....202

РАШОВСЬКИЙ Олександр, ОЛЕНЮК Олександр, PENKALA Piotr

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ НАПЛАВЛЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ.....206

РОМАНКО Любомир, ФЕДІРКО Павло, LONKWIC Pawel

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ
ШНЕКОВИХ МЕХАНІЗМІВ.....211

ЖОВТОБРЮХ Валерій

РЕМОНТ СИСТЕМИ ЗМІНИ ФАЗ ГАЗОРОЗПОДІЛУ (VVT, VANOS, VTEC).....217

СЕКЦІЯ 4

НАДІЙНІСТЬ МАШИН MACHINE RELIABILITY

БОНЧИК Віталій, LONKWIC Pawel

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ТРАНСМІСІЙ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ.....221

НІМИЧКО Дмитро, БОНЧИК Віталій, PUCZEL Jolanta

МЕТОДИКА ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО
НАДІЙНІСТЬ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ.....224

САУХ Олександр, ЗАРУЦЬКИЙ Сергій, ГРУДОВИЙ Роман ЗАБРУДНЕННЯ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ ТА ЇХ ДЖЕРЕЛА	227
---	-----

САФТЮК Ярослав, ШТУЦЬ Андрій ВПЛИВ ВМІСТУ СІРКИ В ПАЛИВАХ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ	230
---	-----

СЕКЦІЯ 5

ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ ENERGY, ENERGY MEANS OF ELECTRICAL TECHNOLOGY AND AUTOMATION БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА BIOENERGY SYSTEMS AND RENEWABLE ENERGY

OLENYUK Oleksandr, GLOWACKI Szymon APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR THE OPTIMIZATION OF ENERGY COMPLEXES	233
--	-----

PISAREK Lukasz IMPACT OF WIND FARMS ON THE AGRICULTURAL ENVIRONMENT	237
--	-----

КОЛІСНИК Микола ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ	240
--	-----

ЄРМАКОВ Сергій, LADA Agata ТОРЕФІКАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ	244
--	-----

СЕКЦІЯ 6

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ REGULARITIES OF FRICTION AND WEAR PROCESSES OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

БАЙБУЛА Артур, ХАЛІМОВСЬКИЙ Святослав, КОВАЛЬЧУК Даніл, БОРАК Костянтин ТРИБОТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ПОВЕРХНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН	249
---	-----

ГУПКА Андрій, ТКАЧЕНКО Ігор, ЛЕЩУК Роман, ПИНДУС Тетяна, ОСТАПЧУК Степан

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ.....256

КУШИЦЬКИЙ Віталій, КОМАРНИЦЬКИЙ Сергій, CHOLUJ Marcin

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ.....260

ОЛЕКСАНДРЕНКО Віктор, СТЕЧИШИН Мирослав, MARTINIYUK Андрій, БОРИС Микола, НЕЛЮБІН Юрій

ВПЛИВ ВИДУ МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОЯВ ТОПОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ УМОВ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....264

СЛОБОДЯН Дмитро, ДЕВІН Владлен

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗНОШУВАННЯ НАРАЛЬНИКОВИХ СОШНИКІВ.....269

СТЕЧИШИН Мирослав, ЛУК'ЯНЮК Микола, MARTINIYUK Андрій, БОРИС Микола

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН МОДИФІКАЦІЄЮ БЕЗВОДНЕВИМ АЗОТУВАННЯМ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ.....272

ЧОРНОГРИЦЬКИЙ Назарій, ТКАЧУК Василь, PENKALA Piotr

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ.....276

СЕКЦІЯ 7

ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА THERMAL ENERGY

ЛАВРЕНЮК Петро, ЯРОПУД Віталій

CFD–МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ У КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ.....281

ЯРОПУД Віталій

CFD–АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ КАНАЛІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПОБІЧНО–ВИПАРНОГО ТЕПЛООБМІННИКА.....285

СЕКЦІЯ 1

НОВАТОРСЬКІ СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН INNOVATIVE STRATEGIES FOR THE DEVELOPMENT OF TECHNICAL SERVICE FOR MACHINES

Дмитро БЛЯНСЬКИЙ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія».

Marcin CHOLUJ

магістр інженерії Державної академії прикладних наук у Хелмі

Науковий керівник:

Василь ДУГАНЕЦЬ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

СЬОГОДЕННЯ ШВИДКОГО СТВОРЕННЯ НОВІТНЬОЇ ТЕХНІКИ

У сучасному світі техніка та технології розвиваються надзвичайно швидкими темпами. Цей процес охоплює всі сфери життєдіяльності людини: від побуту й освіти до промисловості, аграрного сектору та медицини. Постійне вдосконалення обладнання та скорочення життєвого циклу технічних засобів створюють як нові можливості для розвитку суспільства, так і низку проблем, що потребують наукового осмислення та практичного вирішення.

Якщо вести мову про науково-технічний прогрес, то слід зазначити, що розвиток інформаційних технологій, наноматеріалів, біотехнологій і штучного інтелекту стимулює постійне вдосконалення технічних систем.

Розвиток науково-технічного прогресу сприяє появі нових рішень у галузі техніки, технології, організації виробництва та економічних методів управління. Це спричиняє розвиток інноваційних процесів у виробництві. *Інноваційні процеси є*

сукупністю якісно нових, прогресивних змін, що відбуваються у виробничо-господарській системі. Результатом інноваційних процесів є *новинки* в техніці, організації виробництва і праці, управління, а їх впровадження в господарську практику є *нововведеннями*.

В чому полягають передумови та причини швидкого оновлення техніки.

Насамперед це є конкуренція на глобальному ринку. Виробники прагнуть забезпечити лідерство, пропонуючи продукцію з вищими та якіснішими показниками.

По друге, суспільство потребує інновацій для покращення якості життя, автоматизації процесів і забезпечення екологічної безпеки. І відповідно світові стандарти щодо енергоефективності та скорочення шкідливих викидів змушують виробників оперативно впроваджувати нові технології.

Разом із швидким розвитком створення новітньої техніки з'являються і проблеми, а саме фінансові витрати, так як постійна модернізація вимагає значних інвестицій у виробництво та навчання персоналу. Далі настає проблема утилізації. Зростає кількість електронних відходів, що створює екологічне навантаження.

Також при створенні новітньої техніки виникає необхідність підвищення кваліфікації працівників, які повинні постійно удосконалювати свої навички.

Тут же створюється і технологічна залежність, оскільки країни, які не встигають за темпами оновлення техніки або технічних засобів, опиняються у стані споживачів продукції, а не виробників новітньої техніки і технологій.

Не зосереджуючись на проблеми, які виникають паралельно із швидким темпом оновлення техніки, мають місце переваги та можливості виробництва, які забезпечать підвищення продуктивності та конкурентоспроможності; покращення умов праці та рівня життя населення; розвиток нових галузей економіки та створення нових робочих місць. Разом з тим це буде сприяти сталому розвитку за рахунок екологічно безпечних технологій.

Якщо розглядати специфіку інноваційного процесу новітньої техніки, то вона полягає в тому, що з розробленням інновації увага поступово переміщується від сфери досліджень до сфери збуту, що має не маловажне значення. Водночас

елементи інноваційного процесу перебувають у тісній взаємодії, постійно обмінюючись інформацією.

Спрощено модель інноваційного процесу можна подати як кілька послідовних етапів: наука – техніка – виробництво.

Саме на рисунку 1 представлена послідовність та взаємозалежність стадій інноваційного процесу на підприємстві, яке займається виробництвом або виготовленням тієї чи іншої техніки для народного господарства [5].



Рис. 1. Схема етапів інноваційного процесу підприємства

Якщо розглядати представлену схему, то слід зауважити, що для того аби задовільнити потреби суспільства, необхідно в повній мірі проводити широкоформатні дослідження можливості розробки, які б сприяли формуванню концепцій, що в подальшому увійдуть в проектно-конструкторські розробки, а згодом в експериментальні дослідження. Саме виконання експериментальних досліджень дозволить проаналізувати потенційні ринки і провести пробний маркетинг технічної продукції і нарешті з доопрацюванням запустити у серійне виробництво. В процесі виробництва і експлуатації розглядаються недоліки і

одночасно розглядаються покращення (новації) виробництва, що сприяє швидким темпам оновлення техніки, А це в свою чергу задовольняє потреби суспільства.

Отже, швидкі темпи оновлення техніки є визначальною рисою сучасного етапу науково-технічного прогресу. Вони створюють умови для економічного зростання та інноваційного розвитку, проте вимагають відповідального підходу до використання ресурсів, підготовки фахівців та впровадження систем утилізації техніки. Перспективним напрямом є формування моделі сталого технологічного розвитку, де інновації поєднуються з екологічною безпекою та соціальною відповідальністю.

Список використаних джерел

1. Белл, Д. Соціальні рамки інформаційного суспільства. Київ : Академія, 2004. 320 с.
2. Гальчинський, А. С. Сучасні технології і глобальна економіка. Київ: Либідь, 2019. 412 с.
3. Кастельс, М. Інформаційна ера: економіка, суспільство і культура. Київ: Ваклер, 2000. 608 с.
4. Маркова, О. І. Інноваційний розвиток технічних систем: виклики XXI століття // Економіка та держава. 2022. - № 5. – С. 45–49.
5. Електроний навчальний посібник з дисципліни «Економіка та організація інноваційної діяльності» https://elib.tsatu.edu.ua/dep/feb/ptbd_1/page30.html
6. Schwab, K. The Fourth Industrial Revolution. – Geneva: World Economic Forum, 2016. 192 p.
7. OECD. Innovation and Technology Policy. – Paris: OECD Publishing, 2021. 250 p.

Назар ВІЛНІСЬКИЙ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208«Агроінженерія»

Науковий керівник:

Микола ВОЛИНКІН

асистент, Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТРАКТОРІВ ТА АВТОМОБІЛІВ

Сучасна техніка – трактори, сільськогосподарські машини та комерційні автомобілі – є надзвичайно складними електромеханічними системами, які генерують величезні масиви даних про свій стан. Традиційні підходи до технічного обслуговування за жорстким графіком або після виникнення поломки (реактивний сервіс) є економічно неефективними та призводять до значних простоїв.

Саме тому впровадження інтелектуальних систем діагностики (ІСД) стає необхідністю. Ці системи використовують потужність алгоритмів штучного інтелекту для аналізу даних, отриманих від бортових датчиків та телематики, з метою автоматизованого виявлення, класифікації та прогнозування несправностей на якомога ранніших етапах. Перехід на ІСД дозволяє реалізувати концепцію предиктивного обслуговування, що є основою для підвищення ефективності, оперативності та економічної доцільності технічного сервісу [2,с.72-80].

Фундаментом ІСД є здатність обробляти та інтерпретувати великі дані (Big Data), отримані в реальному часі. Система працює за наступними принципами:

- Постійний моніторинг великого масиву параметрів – температури оливи, тиску в гідросистемі, рівня вібрації, навантаження на двигун, електричних характеристик та багатьох інших.

- Використання нейронних мереж, які навчаються на історичних даних про типові режими роботи та випадки відмов. Система встановлює нормальні патерни поведінки вузлів [4,с.23-24].

– Виявлення аномалій, – у реальному часі ІСД порівнює поточні дані з навченими патернами (схемами-образами). Будь-яке істотне відхилення ідентифікується як потенційна аномалія, що передує несправності.

– Прогнозування та рекомендації, – на основі аналізу трендів система прогнозує час ймовірної відмови (наприклад, «вихід з ладу підшипника прогнозується через 150 мотогодин») та автоматично генерує конкретні рекомендації щодо необхідного ремонту та запасних частин.

Впровадження інтелектуальних систем діагностики суттєво трансформує процес обслуговування, забезпечуючи низку переваг для експлуатації тракторів та автомобілів [5]:

– Система попереджає про потенційні поломки, такі як несправності трансмісії чи двигуна, задовго до того, як вони спричинять повну зупинку машини. Це дозволяє перейти від аварійних ремонтів до планового втручання.

– Завдяки аналізу кореляції між численними параметрами, ІСД може ідентифікувати першопричину проблеми, а не лише її зовнішні прояви чи наслідки. Це значно скорочує час, який механік витрачає на пошук несправності.

– Зменшується потреба у надмірних складських запасах, оскільки система дозволяє прогнозувати потребу в конкретних запчастинах під заплановані предиктивні ремонти. Крім того, технічний персонал може ефективніше планувати свій час, виконуючи роботи лише тоді, коли це справді необхідно.

– Своєчасне усунення незначних дефектів, виявлених ІСД, запобігає їхньому розвитку у серйозні поломки, які можуть зруйнувати великі агрегати. Це продовжує термін служби дорогих вузлів.

Головний економічний ефект від ІСД полягає у зниженні часу простою (Down-time). Перехід до запланованих, короткочасних ремонтів замість тривалих незапланованих аварійних відновлень може скоротити простої техніки на 15-30%. Крім того, точність діагностики та своєчасна заміна елементів знижують загальні експлуатаційні витрати техніки [3, с.56].

Подальші перспективи розвитку ІСД пов'язані з інтеграцією з технологіями глибокого навчання (Deep Learning) для ще більш складного аналізу даних та

розробкою повністю автономних діагностичних модулів. Інтеграція з доповненою реальністю (AR) дозволить надати технікам прямі візуальні інструкції щодо ремонту на основі діагнозу, автоматично наданого інтелектуальною системою [1].

Висновки. Впровадження інтелектуальних систем діагностики є стратегічним імперативом для забезпечення високої ефективності технічного сервісу як тракторів, так і автомобілів. Замість реактивного ремонту, що базується на відмові, ІСД пропонує проактивну, науково обґрунтовану стратегію предиктивного обслуговування. Це є ключовим фактором для підвищення надійності машинно-тракторного парку, мінімізації втрат від простоїв та забезпечення конкурентоспроможності агропромислових та логістичних підприємств.

Список використаних джерел

1. Козельська К., Магрук О. (2025). Змішане навчання в автомобільній інженерії: виклики та можливості під час війни. *Фахова передвища освіта*. <https://osvitafp.com.ua/2025/08/12/zmishane-navchannia-v-avtomobilnij-inzhenerii-vyklyky-ta-mozhlyvosti-pid-chas-vijny/>.
2. Мигаль В.Д., Аргун Щ.В., Гнатов А.В., Гнатова Г.А., Сохін П.А. (2022). Інтелектуальне діагностування транспортних засобів. *Автомобіль і електроніка. Сучасні технології*, 22, 72-80.
3. Рибіцький О., Голян В. (2025). Інтелектуальна діагностика автомобілів з використанням штучного інтелекту. *Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences*, 351(3.1), 448-454. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-351-56>
4. Чайка В.Є. (2025). Роль нейронних мереж у розробці систем керування для автономних транспортних засобів. *Радіoeлектроніка та молодь у XXI столітті: матеріали 29-го Міжнар. Молодіж. Форуму, 16-19 квітня 2025 р. Харків: ХНУРЕ*, с. 23-24.
5. Широкун І. (2023). Комп'ютерна діагностика автомобіля: які несправності можна виявити. *MotoIntegrator*. <https://motointegrator.com/ua/uk/ctatti/obslugovuvannja-ta-dogljad/komp-yuterna-d-agnostika-avtomob-lq-qk-nespravnost-mozhna-viqviti>.

Олександр ГОВОРОВ

здобувач вищої освіти 1 курсу ОС «Магістр»
спеціальності J8 «Автомобільний транспорт»

Науковий керівник:

Віктор ДУГАНЕЦЬ

д-р. пед. Наук, професор

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ВИКОРИСТАННЯ БІОЕТАНОЛУ ЯК ДОБАВКИ ДО ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛЬНОГО: ЕКОЛОГІЧНІ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ АСПЕКТИ

У сучасному світі, де дедалі гостріше постають екологічні виклики, зокрема глобальне потепління, зміна кліматичних умов і забруднення довкілля, а також стрімко зменшуються запаси викопних енергоносіїв, тема переходу до відновлюваних та альтернативних джерел енергії стає надзвичайно актуальною. Зростаючий інтерес до «зеленої» енергетики зумовлений необхідністю забезпечити сталий розвиток, знизити залежність від традиційних джерел палива. [1]

Серед основних джерел забруднення атмосфери особливо вирізняються дизельні двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), попри їхню високу ефективність і поширеність у транспортному секторі, промисловості та сільському господарстві, залишаються одними з основних джерел забруднення атмосферного повітря. Значні обсяги викидів шкідливих речовин – зокрема оксидів азоту, сажі та вуглеводнів – зумовлюють потребу в впровадженні технологій, що дозволяють зменшити негативний вплив на довкілля без істотних змін у конструкції двигуна. Одним із перспективних варіантів є використання біоетанолу як домішки до дизельного палива. Цей відновлюваний ресурс, отриманий переважно з біомаси, може частково замінити нафтове паливо, сприяючи зниженню викидів та покращенню загальної паливної ефективності. [1, 2, 6].

Переваги інтеграції біоетанолу в паливні системи дизельних двигунів [5]:

- Екологічна безпека. Біоетанол містить у своїй структурі кисень, що позитивно впливає на повноту згоряння паливної суміші. Як наслідок, знижується

утворення сажі, чадного газу, незгорілих вуглеводнів і деяких інших токсичних компонентів. Це особливо важливо в умовах міст та промислових зон, де рівень забруднення повітря перевищує нормативи.

- Відновлюваність та локальна доступність. Сировиною для виробництва біоетанолу можуть слугувати залишки сільськогосподарської продукції, технічні культури, відходи харчової промисловості. Такий підхід дозволяє не лише зменшити залежність від імпорту енергоносіїв, а й налагодити замкнені цикли використання біомаси на національному рівні.

- Покращення процесів згоряння. Додавання біоетанолу в дизель сприяє більш рівномірному розпиленню суміші та її кращому окисненню. Це може зменшити детонаційні явища, зробити роботу двигуна плавнішою, а також знизити рівень шуму під час роботи мотора.

Проблемні аспекти застосування біоетанолу в дизельних установках:

- Нестабільність сумішей. Через полярну структуру молекули етанолу він не завжди стабільно змішується з дизельним паливом, особливо в умовах знижених температур або за відсутності спеціальних добавок. Без стабілізаторів чи технології емульгування можливе розшарування пального, що негативно впливає на роботу двигуна.

- Нижча калорійність. Енергетична цінність біоетанолу нижча, ніж у дизеля. Це може призвести до дещо більшої витрати пального при незміненому режимі роботи. Водночас при правильному налаштуванні систем упорскування та зміни робочих параметрів двигуна ці втрати можна мінімізувати.

- Можлива корозія та вплив на матеріали паливної системи. Довготривалий контакт спирту з елементами паливопроводу або ущільнювачами може призвести до хімічної деградації матеріалів. Тому для широкого використання біоетанолу необхідно враховувати сумісність компонентів системи живлення.

Значний аграрний потенціал України забезпечує щорічне формування великих обсягів біомаси після збору урожаю. Це створює сприятливі умови для розвитку біоетанольної галузі.

У нашій державі наразі ведуться дослідження щодо оптимальних пропорцій сумішей дизеля з біоетанолом, а також методів зберігання й транспортування таких палив. Для ефективної імплементації цієї технології необхідні подальші інвестиції, підтримка з боку держави та формування законодавчих механізмів стимулювання попиту на екологічно чисте паливо[3, с. 1, 4, с. 1-2].

Висновки. Інтеграція біоетанолу в систему живлення дизельних двигунів є перспективним кроком у напрямі зниження екологічного навантаження та зміцнення енергетичної незалежності країни. Незважаючи на технічні виклики, ця технологія має значний потенціал у майбутньому, особливо за умов комплексного підходу до її реалізації.

Підтримка з боку наукової спільноти, бізнесу та державних структур може стати вирішальним чинником у розвитку біоетанольного напрямку, що відповідатиме як вимогам часу, так і стратегічним інтересам України у сфері сталого розвитку та екологічної безпеки.

Список використаних джерел

1. Роїк М.В., Курило В.Л., Гументик М.Я., Ганженко О.М. Біоенергетика в Україні: стан та перспективи розвитку // Біоенергетика, 2013. № 1. С. 5-10.
2. Енергетична стратегія України на період до 2030 року. URL: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStratagy2030.pdf> (дата звернення: 19.09.2025).
3. Біодизель. Альтернативні палива для транспорту URL: <https://dieret.rea.org.ua/uk/biodiesel.html> (дата звернення: 22.09.2025).
4. Закон України від 20.02.2003 № 555 – IV «Про альтернативні джерела енергії». URL: <http://zakon1.rada.gov.ua> (дата звернення: 24.09.2025).
5. Плюси і мінуси біоетанолу. URL: <https://idaoffice.org/uk/posts/pros-and-cons-of-bioethanol/> (дата звернення: 24.09.2025).
6. Альтернативне паливо для сільськогосподарської техніки. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/alternatyvne-palyvo-dlja-silskohospodarskoyi-tehniky.pdf> (дата звернення: 27.09.2025).

Ростислав ГУНЬКА

здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

Науковий керівник:

Олександр ГОВОРОВ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Pawel LONKWIC

доктор з інженерії

завідувач кафедри механіки та конструювання машин

Державної академії прикладних наук у Хелмі

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ МЕТОДІВ ВІДДАЛЕНОЇ ДІАГНОСТИКИ

На сучасному етапі розвитку автомобілебудування стрімко зростає складність конструкцій транспортних засобів, що вимагає нових підходів до їх обслуговування та діагностики. Застарілі методи, які базуються переважно на візуальному огляді та фізичній перевірці агрегатів, дедалі більше втрачають актуальність. Одним із перспективних напрямів модернізації технічного обслуговування є застосування дистанційної електронної діагностики, яка дає змогу проводити оцінку технічного стану автомобіля без безпосереднього втручання в його систему [1, с.5].

Дистанційна електронна діагностика – це технологія, що забезпечує віддалений збір, обробку та аналіз параметрів роботи автомобіля. Зазвичай такі системи працюють на базі інтерфейсу OBD-II, доповненого телематичними модулями, які передають інформацію через мережі мобільного зв'язку або Wi-Fi до діагностичного центру.

Отримані дані можуть містити інформацію про роботу двигуна, трансмісії, гальмівної системи, рівень рідин, температуру, а також помилки, зафіксовані електронними блоками управління (ECU). Такий підхід дозволяє оперативно

реагувати на зміни технічного стану автомобіля та приймати рішення щодо необхідності технічного втручання [2, с. 30, 3, с.].

Застосування дистанційних технологій у сфері обслуговування транспортних засобів відкриває низку переваг як для автовласників, так і для сервісних компаній:

- Оперативність реагування. Виявлення несправностей відбувається в режимі реального часу, що мінімізує ризик серйозних поломок.
- Зниження експлуатаційних витрат. Своєчасне обслуговування дозволяє уникнути дорогих ремонтів.
- Зручність. Власнику не потрібно щоразу звертатися на СТО – частина обслуговування відбувається дистанційно.
- Покращення сервісу. Автосервіси отримують можливість завчасно планувати роботи, оптимізуючи використання ресурсів.

Попри значний потенціал, дистанційна діагностика потребує вирішення ряду проблем, серед яких:

- Фінансовий бар'єр. Впровадження обладнання та програмного забезпечення вимагає початкових інвестицій.
- Нерівномірність доступу. Не всі автомобілі підтримують сучасні інтерфейси діагностики.
- Питання кібербезпеки. Передача даних через відкриті канали вимагає додаткових заходів безпеки.
- Професійна підготовка персоналу. Сервісні центри повинні мати фахівців, здатних працювати з новітніми системами [2, с. 32, 3, с. 65].

З огляду на загальний курс на цифровізацію транспортної галузі, можна прогнозувати подальше поширення дистанційної діагностики. Очікується інтеграція таких систем із хмарними платформами, використання елементів штучного інтелекту для прогнозової аналітики та побудова єдиної національної системи технічного моніторингу автопарку.

Крім того, значну роль відіграватимуть стандартизація протоколів передачі даних, розробка загальних технічних вимог та створення умов для безпечного зберігання і використання інформації [4, с. 59, 5, с. 89].

Висновки. Дистанційна електронна діагностика – це сучасний інструмент, здатний істотно покращити якість і швидкість технічного обслуговування автомобілів. Її впровадження є не лише вимогою часу, а й необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності сервісних підприємств. Подальші дослідження у цьому напрямі мають бути спрямовані на оптимізацію існуючих рішень, розширення функціоналу діагностичних систем і адаптацію до реалій українського ринку.

Список використаних джерел

1. Бідняк М. Н., Біліченко В. В. Виробничі системи на транспорті: теорія та практика : монографія. Вінниця : Універсум-Вінниця, 2006. 176 с.
2. Волков В. П., Грицюк І. В., Волкова Т. В., Кужель В. П., Волков Ю. В., Павленко В. М. Удосконалення методу дистанційного контролю параметрів технічного стану автомобілів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2020, Т. 11, № 1, С. 28-39
3. Мармут І. А., Кашканов В. А. Аналіз критеріїв використання пересувних діагностичних станцій для проведення обов'язкових технічних оглядів автомобілів. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2022, Т. 16, № 2, С. 64-71.
4. Головіна О. В., Холодний Ю. Ф., Строков О. П., Жовтобрюх В. О. Дослідження впливу якості діагностики і ремонту електронних систем на подальшу технічну експлуатацію автомобіля. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025, Т.1, № 1. Вип. 92, С. 57-62.
5. Аулін В. В., Панарін Д. Є. Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів з використанням методів дистанційної електронної діагностики. *Вісник ВПІ*, 2014. Вип. 4, с. 88–91.

Андрій ДИКИЙ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208«Агроінженерія»

Marcin CHOLUJ

магістр інженерії

Державної академії прикладних наук у Хелмі

Науковий керівник:

Сергій ГРУШЕЦЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

СТРАТЕГІЇ РОЗВИТКУ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу технічний сервіс машин відіграє ключову роль у забезпеченні надійності, ефективності та довговічності сільськогосподарської техніки. Використання традиційних підходів до обслуговування машин вже не задовольняє вимог сучасного ринку, тому зростає актуальність впровадження новаторських стратегій сервісного обслуговування [1-5].

Актуальні виклики у сфері технічного сервісу:

- швидке оновлення технічного парку;
- ускладнення конструкцій машин (електроніка, GPS, сенсори);
- потреба в точній діагностиці та мінімізації простоїв;
- недостатній рівень цифрової трансформації сервісних центрів.

Новаторські стратегії технічного сервісу:

– цифрова діагностика та віддалений моніторинг:

- використання телеметрії, датчиків, IoT;
- прогнозування технічного стану (predictive maintenance);
- приклад – система **New Holland PLM Connect** для відстеження продуктивності та діагностики техніки в режимі реального часу.

Дистанційна діагностика CLAAS TELEMATICS – це віддалена діагностика комбайна або трактора за допомогою мобільного зв'язку та інтернет-технологій [2].

Дистанційна діагностика – це:

- аналіз всієї необхідної інформації через інтернет;
- оптимізація робочих процесів – аналіз часу роботи;
- оптимізація налаштувань – дистанційний контроль;
- економія часу на обслуговування – дистанційна діагностика.

CLAAS TELEMATICS – це повний огляд стану техніки одним клацанням миші в будь-який час і в будь-якому місці!

Режим роботи сервісної служби.

Кожен співробітник сервісної служби доступний по мобільному телефону в режимі 24/7. У період проведення посівних і збиральних робіт інженери сервісної служби і фахівці відділу запчастин чергують цілодобово.

Управління завданнями і TELEMATICS подано на рисунку 1.

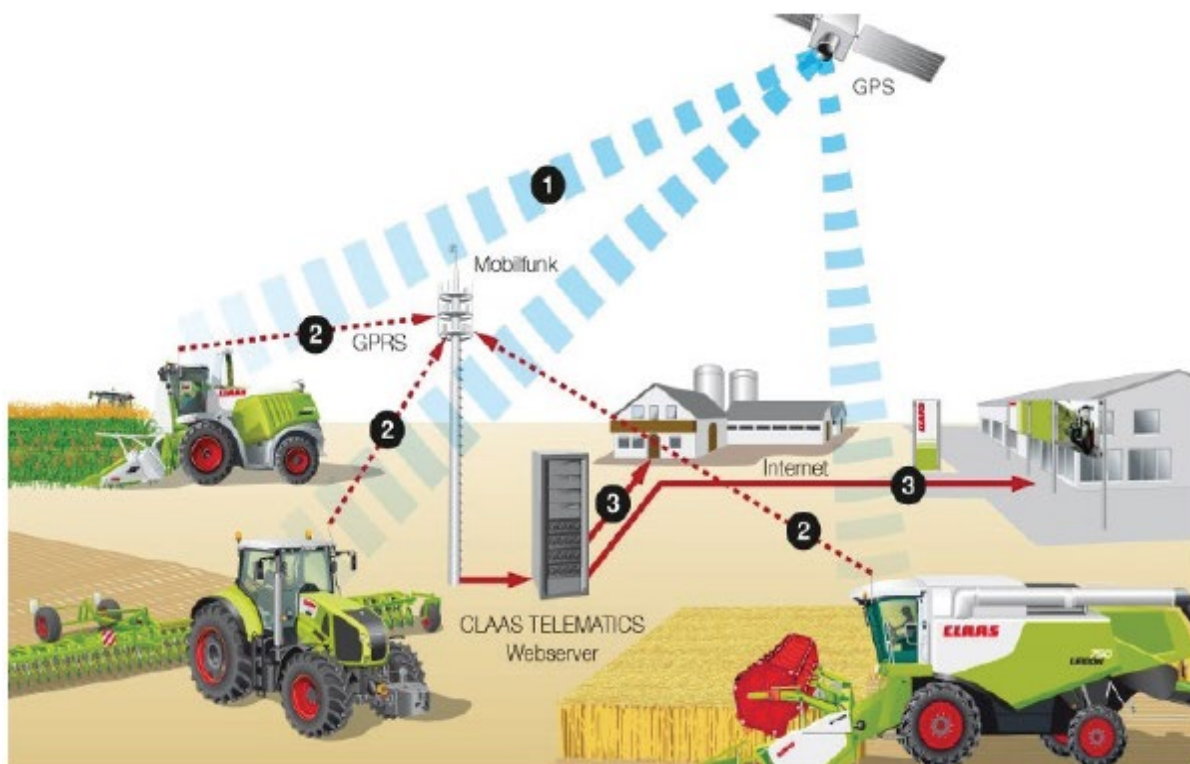


Рис. 1. Управління завданнями і TELEMATICS [2]:

1 – прийом даних про місце знаходження через супутник; 2 – передача даних і налаштувань машини по мобільній мережі на сервер TELEMATICS; 3 – виклик даних фермером або віддалена діагностика дилером

- **модульна система технічного обслуговування:**
 - упровадження сервісних пакетів за типом обслуговування (базове, розширене, повне);
 - гнучкість для агропідприємств із різним обсягом техніки та завдань.
- **платформенне управління сервісом:**
 - впровадження єдиних цифрових платформ для запису, історії обслуговування, автоматизованих заявок (рис. 2);
 - інтеграція з ERP-системами підприємств.

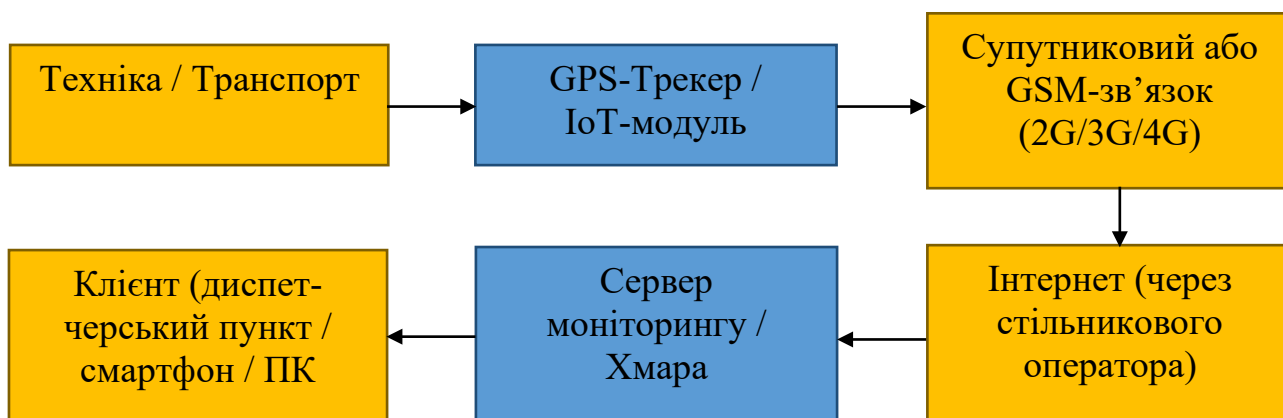


Рис. 2. Алгоритм роботи сервісної платформи
(від заявки до виконання послуги)

Техніка – транспортний засіб або обладнання, яке потрібно відстежувати.

GPS-Трекер або IoT-модуль – встановлюється на техніці, збирає дані про координати, швидкість, стан двигуна тощо.

Супутниковий або GSM-зв'язок – трекер передає дані через мобільну мережу або супутник.

Інтернет – дані передаються на сервер через інтернет-з'єднання.

Сервер / Хмара – обробка, зберігання та аналітика даних.

Клієнтський пристрій – диспетчер або власник техніки переглядає інформацію через вебінтерфейс або мобільний застосунок.

- **мобільні сервісні станції:**
 - використання спеціалізованих мобільних команд для виїзного обслуговування;

- мінімізація часу простою техніки у полі;
- приклад – мобільні сервісні фургони з устаткуванням для діагностики та ремонту.

Переваги впровадження інноваційних підходів:

- зменшення аварійності;
- підвищення ресурсу машин;
- економія витрат на ремонт;
- підвищення задоволеності клієнтів сервісних компаній;
- формування системи «розумного» агросервісу.

Висновки. Новаторські стратегії розвитку технічного сервісу машин – це основа для підвищення ефективності агровиробництва. Вони потребують інвестицій у цифрову інфраструктуру, навчання персоналу та перегляду управлінських підходів. У найближчі роки розвиток сервісу рухатиметься в напрямку інтелектуалізації, автоматизації та персоналізації послуг.

Список використаної літератури

1. Експлуатація машин і обладнання : підручник / Іванишин В.В., Лабазюк П.П., Рудь А.В., Грушецький С.М. Кам'янець-Подільський : ТОВ «Друкарня «Рута», 2024. 576 с.
2. Іванишин В.В., Рудь А.В., Грушецький С.М. Технічне обслуговування машин і обладнання : підручник. Кам'янець-Подільський : ЗВО «ПДУ» : ТОВ «Друкарня «Рута», 2023. 360 с.
3. Литовченко О.М., Коваль В.П. Сучасні аспекти технічного сервісу аграрної техніки. Київ : Аграрна наука, 2021. 210 с.
4. Мельник А.Ф., Дідур І.П. Інноваційні підходи до сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки. Техніка і технології АПК. 2022. № 3. С. 14–18.
5. New Holland Agriculture. PLM Intelligence. Режим доступу: <https://agriculture.newholland.com/>.

Роман ДУГАНЕЦЬ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Бакалавр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Юрій ПАНЦИР

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

РОЛЬ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ В УКРАЇНІ ТА НА МІЖНАРОДНІЙ АРЕНІ

У сучасних умовах розвитку економіки України технічний сервіс посідає важливе місце як один із ключових факторів забезпечення ефективності функціонування виробничих галузей. Якісне обслуговування та ремонт техніки сприяють підвищенню продуктивності праці, зменшенню простоїв обладнання, продовженню строків його експлуатації, а також зниженню витрат на виробництво. Особливого значення технічний сервіс набуває в агропромисловому комплексі, промисловості та транспорті, адже саме ці сфери забезпечують базові потреби суспільства і визначають конкурентоспроможність держави.

Сільське господарство України традиційно є провідною галуззю, що формує значну частину ВВП та експортного потенціалу країни. Ефективність аграрного виробництва значною мірою залежить від технічної оснащеності та надійності сільськогосподарської техніки, а саме: своєчасне технічне обслуговування тракторів, комбайнів та іншої сільськогосподарської техніки дозволяє знизити втрати врожаю; використання сучасних сервісних технологій (GPS-моніторинг, діагностика в режимі реального часу) забезпечує оптимальне використання машинного парку; налагоджена система сервісного обслуговування сприяє впровадженню інноваційних технологій у сільському господарстві.

Промислові підприємства та транспортні компанії потребують стабільної роботи обладнання та технічних засобів. Високоякісний технічний сервіс забезпечує

безперервність виробничих процесів, зменшує аварійність і виробничі ризики, дозволяє оптимізувати енерговитрати та підвищити рентабельність виробництва.

Особливу увагу необхідно звернути на транспортну інфраструктуру. Безпека перевезень пасажирів і вантажів безпосередньо залежить від своєчасного технічного контролю та обслуговування транспортних засобів.

На сьогодні технічний сервіс поступово інтегрується з цифровими технологіями, такими як системи діагностики на основі штучного інтелекту; дистанційні сервіси та автоматизовані системи управління технічним станом; концепції “передбачуваного ремонту” (predictivemaintenance), що дозволяють запобігати поломкам. Цифровізація технічного сервісу відкриває можливості для підвищення ефективності виробничих процесів, скорочення витрат і підвищення якості послуг. Розвиток технічного сервісу в Україні має економічний та соціальний ефект, оскільки створюються нові робочі місця, підвищується доступ населення до якісних послуг, стимулюється розвиток малого і середнього бізнесу у сфері ремонту й обслуговування техніки.

Є сподівання, що у післявоєнний період відновлення України технічний сервіс стане одним із ключових факторів, що забезпечить ефективне відновлення промисловості, сільського господарства та інфраструктури.

Що стосується технічного сервісу на міжнародній арені, то для України багато чого слід запозичити із Європейської практики та США. Перш за все необхідно розробити на національному рівні дорожню карту з уніфікації стандартів сервісу (якість, кібербезпека, екологія) з орієнтацією на гармонізацію з європейськими нормами, що дозволить полегшити доступ українських сервісних компаній до ринків ЄС. (Узгодження у питаннях кіберзахисту сервісних платформ – пріоритет). Далі потрібно створити освітні програми і сертифікації для сервісних інженерів (включно з навичками роботи з даними й кібербезпекою). Співпраця з приватним сектором (наприклад, навчальні центри) пришвидшить набір кваліфікованих кадрів. Окрім того необхідно інвестувати в локальні центри логістики запчастин для скорочення часу відновлення – це допоможе як для внутрішнього попиту, так і для експорту інженерних послуг. Також заохочувати навчальні центри і місцеві

виробництва до пропозиції підписних сервісів, контрактів на результат (availability-based contracts) – це модель державно-приватного партнерства (ДПП), де приватний партнер отримує регулярні платежі від замовника, якщо інфраструктура чи послуга доступна у визначеній якості, незалежно від фактичного обсягу її використання. У таких контрактах замовник залишається ризикувати попитом, а дохід приватного партнера не залежить від кількості користувачів. Ця модель часто застосовується для проєктів у соціальних секторах або для доріг, де уряд бере на себе ризик попиту. Це потребує змін у податковому та регуляторному полі, але підвищує довгострокову цінність для клієнтів.

Отже технічний сервіс в Україні є стратегічним елементом розвитку економіки, який забезпечує стабільність аграрного виробництва, ефективність промисловості, безпеку транспорту та створює умови для впровадження інновацій.

На міжнародній арені – це вже стратегічний бізнес-функціонал, який формує додану вартість, підтримує експорт і визначає конкурентоспроможність виробників. ЄС дає приклад через стандартну, регульовану й безпечну платформну інфраструктуру; США – агресивну ринкову монетизацію цифрових сервісів. Для України пріоритети мають бути у якості гармонізації стандартів з ЄС, інвестицій в цифрові сервіси та людський капітал, розвиток логістики та створення сприятливих бізнес-моделей для сервісної економіки.

Список використаних джерел

1. Бондаренко В. Г. Технічний сервіс у сільському господарстві: сучасний стан та перспективи розвитку. Київ: НУБіП, 2020.
2. Глущенко А. А., Ковальчук М. І. Основи технічного сервісу машин і обладнання. Харків: ХНТУСГ, 2019.
3. Гриценко С. І. Система технічного обслуговування і ремонту в АПК: проблеми та шляхи вирішення. // Агроінженерія. 2021. №2. С. 45–51.
4. Коваль П. І. Інноваційні технології в технічному сервісі. Львів: ЛНУ, 2022.
5. Державна служба статистики України. Сільське господарство України: статистичний збірник. Київ, 2023.

6. OECD. Agricultural Policies in Ukraine 2022. Paris: OECD Publishing, 2022.
7. ISO Standards. International Organization for Standardization. [Офіційний сайт ISO]. 2023.
8. FAO. Digitalization and technical support in global agriculture. – Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2022.

Андрій КОЛОМІЙЧЕНКО

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 275 «Транспортні технології (за видами)»

Науковий керівник:

Віталій МЕЛЬНИК

асистент, Заклад вищої освіти
«Подільський державний університет»

ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

У сучасних умовах функціонування транспортної системи України технічна справність колісних транспортних засобів (КТЗ) має вирішальне значення для безпеки дорожнього руху, охорони довкілля та ефективної експлуатації транспорту. Зростання кількості автомобілів, посилення вимог до екологічних стандартів, а також високий рівень аварійності на дорогах обумовлюють потребу у вдосконаленні системи технічного контролю. Наявна система, що тривалий час залишалась без істотних змін, має ряд критичних недоліків, які потребують системного підходу до реформування.

За статистикою, близько 10...15% дорожньо-транспортних пригод в Україні мають технічні причини, зокрема пов'язані з несправністю гальмівної системи, освітлення, шин або рульового управління. Окрім цього, транспорт із вичерпаним ресурсом негативно впливає на стан довкілля через підвищені викиди шкідливих речовин. У таких умовах контроль технічного стану повинен бути не формальністю, а надійним інструментом профілактики аварій і забезпечення екологічної безпеки.

Станом на сьогодні в Україні існує декілька ключових проблем у сфері технічного контролю транспортних засобів:

1. Відсутність обов'язкового технічного огляду для приватного транспорту, що створює значні ризики для учасників дорожнього руху.

2. Корупційні чинники при проходженні техогляду, які нівелюють ефективність процедур.

3. Недостатній рівень оснащення діагностичних станцій: в багатьох випадках використовується застаріле обладнання, яке не відповідає сучасним стандартам.

4. Низький рівень цифровізації процесів, відсутність єдиної бази даних про технічний стан транспортних засобів.

5. Нерівномірний доступ до контрольних пунктів у віддалених регіонах.

Шляхи удосконалення системи технічного контролю.

Удосконалення системи контролю технічного стану КТЗ повинно охоплювати комплекс заходів на законодавчому, технічному та організаційному рівнях:

1. Нормативно-правове реформування

- Відновлення обов'язкового періодичного технічного контролю для всіх категорій КТЗ, зокрема приватних автомобілів.

- Гармонізація українського законодавства з директивами ЄС (зокрема, Директива 2014/45/ЄС).

- Впровадження чітких критеріїв оцінки технічного стану та порядку проведення оглядів.

2. Технічне переоснащення контрольних пунктів

- Оснащення сертифікованим обладнанням для повноцінної діагностики основних систем КТЗ (гальмівної, рульового управління, підвіски, викидів тощо).

- Впровадження автоматизованих систем збору даних із можливістю фото- та відеофіксації процесу огляду.

3. Цифровізація та прозорість

- Створення національного електронного реєстру технічного стану транспортних засобів.

- Впровадження QR-кодів для перевірки інформації про пройдені огляди.

- Надання доступу до бази даних органам поліції, страховим компаніям та іншим уповноваженим структурам.

4. Кваліфікація персоналу та контроль

- Підвищення вимог до технічного персоналу, що проводить огляд.

- Створення незалежного органу нагляду за діяльністю діагностичних станцій.

- Залучення громадських організацій до процесу моніторингу якості технічного контролю.

2. Мобільні рішення та рівний доступ

- Розгортання мобільних діагностичних пунктів для обслуговування сільських та віддалених районів.

- Можливість онлайн-реєстрації на техогляд та дистанційної перевірки статусу КТЗ.

Міжнародний досвід.

У країнах Європейського Союзу система технічного огляду побудована на принципах регулярності, прозорості та високого рівня відповідальності. Наприклад:

- **У Німеччині** огляд проводиться кожні 2 роки з обов'язковим технічним і екологічним тестуванням.

- **У Польщі** створена цифрова база з фотофіксацією кожного огляду та відкритим доступом до історії обслуговування авто.

- **У Швеції** активно використовуються автоматизовані станції та QR-технології для перевірки достовірності документації.

Досвід цих країн може бути адаптований в Україні з урахуванням особливостей інфраструктури та законодавства.

Сучасний виклик для транспортної системи України – це створення ефективної, прозорої та технологічної системи технічного контролю КТЗ. Запропоновані заходи з нормативного регулювання, технічного переоснащення, цифровізації та контролю якості дозволять суттєво підвищити безпеку на дорогах, знизити техногенне навантаження на довкілля та забезпечити відповідність європейським стандартам. Лише за умови комплексного підходу можливо створити довіру до системи технічного контролю та підвищити рівень відповідальності серед автовласників.

Список використаних джерел

1. Волков В.П., Павленко В.М., Кужель В.П. Дослідження агентного підходу контролю технічного стану транспортних засобів. *Вісник машинобудування та транспорту*, 2019. № 2, С.16-23.
2. Хітров І.О., Клімов С.В. Важливість контролю технічного стану та діагностування транспортних засобів. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*, 2024. Том 35 (74) №3. С.236-242.
3. Директива 2014/45/EU Європейського Парламенту та Ради від 3 квітня 2014 року «Про періодичні випробування придатності до експлуатації для моторних транспортних засобів і їхніх причепів».

Володимир КУЛИКІВСЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент,

Віктор БОРОВСЬКИЙ

старший викладач

Поліський національний університет

ПРОГРАМНО-ІНФОРМАЦІЙНА ПІДТРИМКА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ

Нині відомі різноманітні методи інформаційної підтримки технічного сервісу машин і обладнання, проте значна частина систем не має достатньої достовірності у порівнянні з реальними планами ремонтно-обслуговуючих робіт. Здебільшого вони є системами програмного супроводу процесів технічного обслуговування (ТО) і ремонту (Р) [1, с. 238]. У даних системах виконано планування на основі регламентних робіт чи метричних методів підтримки прийняття рішень, тому вони ускладнюють вирішення завдань якісної оцінки технічного стану машин і обладнання, що прибули на попереджувальне обслуговування.

Для усунення зазначених недоліків розроблена система інформаційної підтримки прийняття рішень під час планування ремонтно-обслуговуючих робіт. Вона заснована на багатокритеріальному плануванні, яке поряд з експертним формуванням цільових організаційно-технологічних заходів, виконаних висококваліфікованими фахівцями, здатне до об'єктивного та формалізованого розв'язання задач. Тобто встановлення черговості надходження однорідних груп машин та обладнання на технічне обслуговування і ремонт за заздалегідь прийнятими критеріями оцінки стану техніки. Критерії включають конструктивні та експлуатаційні показники техніки, що сформовані на підставі узагальнених експертних думок. Побудова черговості технічного обслуговування та ремонту ведеться з урахуванням попереднього встановлення порядку зазначених показників для однорідних об'єктів. З урахуванням прийнятих критеріїв розроблено інформаційну модель паспорта об'єкта обслуговування, яка враховує думки

експертів із використанням бальних оцінок. До того ж поряд із використанням інформаційної моделі паспорта об'єкта обслуговування, розроблено математичне і алгоритмічне забезпечення системи прийняття рішень щодо виведення техніки на комплекс запланованих робіт та операцій.

Інформаційна підтримка визначення черговості технічного обслуговування і ремонту здійснюється за допомогою програмної системи, для якої вхідними даними та відповідними джерелами зовнішніх відомостей є:

1) інформація про машини, обладнання або устаткування, що обслуговуються (тип, виробниче призначення, технічні характеристики, нормативні дані, час введення в експлуатацію та напращування);

2) дані щодо організаційної структури експлуатуючого підприємства, наявними трудовими та технічними ресурсами, що дозволяють оперативно вирішувати питання із завантаження сервісних служб;

3) експертні оцінки ремонтпридатності машин і обладнання, на підставі яких виконується порівняння критеріїв із подальшим формуванням черговості ТО та Р.

На підставі вхідних даних програмна система формує паспорти об'єктів обслуговування, що містять інформацію з ідентифікації (найменування, інвентарний та серійний (заводський) номери тощо), технічні характеристики та значення коефіцієнтів ремонтпридатності машин і обладнання, які задаються експертами. Вихідними даними є черговість ТО та Р, сформована на підставі наявних паспортів об'єктів обслуговування та відібраних критеріїв ремонтпридатності, необхідних для оцінки.

Розроблена програмна система готує економіко-технічні звіти та заявки, що застосовуються підприємством для подальшого інформаційного супроводу ремонтних робіт. Відомості оцінюються співробітниками підприємства, які аналізують результати розрахунку та формують графік планових робіт з ТО та Р на підставі даних, отриманих системою.

Підвищенню ефективності робіт з технічного обслуговування і ремонту сприяє їх автоматизація, для здійснення якої може бути використана методика, покликана вирішувати наступні завдання: виділення об'єкта обслуговування;

виокремлення напрямків ТО та Р; виявлення суб'єктів технічного обслуговування і ремонту, посадових обов'язків та функцій сервісних служб; вивчення документації з ТО і Р; аналіз складу обладнання та об'єктів, що обслуговуються; встановлення видів і змісту ремонтно-обслуговуючих робіт; опис процесів технічного обслуговування та ремонту.

Основними показниками системи технічного обслуговування і ремонту є: об'єкти обслуговування; структура, терміни та витрати на виконання робіт з ТО та Р; обсяг коштів необхідних для виконання ремонтно-обслуговуючих робіт.

У системі автоматизації технічного обслуговування та ремонту машин передбачається наступний набір функцій програмно-інформаційної підтримки: збір та накопичення інформації про сервісні служби і об'єкти ТО та Р в електронному вигляді (паспорт об'єкта обслуговування, перебіг роботи з обладнанням, технологічна та організаційна структура, дані щодо матеріальних ресурсів, інформація про співробітників); ведення електронного журналу виконання ремонтно-обслуговуючих робіт (інформація про склад проведених планових та позапланових робіт з ТО та Р, витрачені ресурси і трудовитрати); автоматизоване складання планів виконання робіт з технічного обслуговування та ремонту в електронному вигляді (додавання у електронний план робіт, ресурсів та трудовитрат, автоматизація процесу складання планів за допомогою «заготовок-шаблонів робіт», формування відповідних документів); автоматизований розрахунок вартості робіт з ТО та Р.

Список використаних джерел

3. Патрашку О., Брацлавець Б. Підвищення ефективності функціонування машин та обладнання АПК за рахунок управління надійністю їх систем. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2023. №4 (323). С. 236–241.

Євген ПАРФЕНЮК

здобувачі вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Михайло ТИМОЩУК

здобувачі вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Євгеній СИРОЇД

асистент, Заклад вищої освіти
«Поліський національний університет»

ЗАСТОСУВАННЯ ІННОВАЦІЙНИХ МЕТОДІВ У ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ ГРУНТООБРОБНОЇ ТЕХНІКИ

Сільськогосподарське виробництво безпосередньо залежить від ефективності використання ґрунтообробної техніки, яка працює в умовах інтенсивних навантажень, підвищеного зношування та впливу агресивного середовища. Технічне обслуговування (ТО) відіграє ключову роль у забезпеченні надійності машинно-тракторного парку. Традиційні методи обслуговування поступово втрачають ефективність через зростання складності сучасної техніки, що зумовлює необхідність впровадження інноваційних технологій [1, с. 18].

Сучасний стан технічного обслуговування ґрунтообробної техніки

У більшості господарств України досі застосовується планово-попереджувальна система обслуговування. Вона передбачає проведення регламентних робіт після визначеної напруженості (мотогодини) чи сезонно [1, с. 52]. Такий підхід має низку недоліків:

- надлишкові витрати ресурсів через заміну деталей, що ще мають залишковий ресурс;
- ризик відмов вузлів між регламентними обслуговуваннями;
- потреба у значних трудових і матеріальних затратах.

Водночас у світовій практиці дедалі більше впроваджуються методи, що базуються на діагностиці технічного стану вузлів у режимі реального часу.

Інноваційні методи технічного обслуговування

4. **Сенсорні системи моніторингу.** Сучасна ґрунтообробна техніка оснащується датчиками контролю вібрації, температури, тиску, рівня змащувальних матеріалів. Це дозволяє своєчасно виявляти відхилення у роботі агрегатів і запобігати аварійним відмовам.



Рис.1. Сенсори для точного землеробства

2. Предиктивне обслуговування (Predictive Maintenance). Застосування технологій Big Data та алгоритмів машинного навчання дає змогу прогнозувати залишковий ресурс вузлів на основі зібраних даних. Наприклад, аналіз кривих вібрації чи температури підшипників дозволяє спрогнозувати момент їхнього виходу з ладу.

Predictive Maintenance

Working | Advantages | Disadvantages

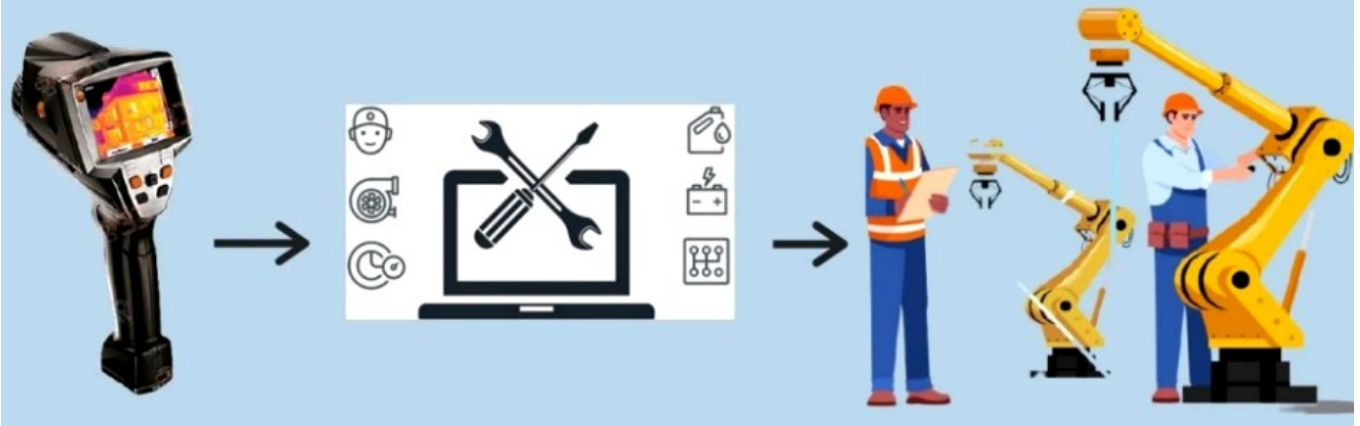


Рис.2. Предиктивне обслуговування с/г машин

3. Телематика та IoT-рішення. Технології інтернету речей забезпечують дистанційний моніторинг техніки через супутниковий зв'язок та мобільні мережі. Це дозволяє аграрним підприємствам контролювати стан машин, їхнє місцезнаходження та ефективність роботи. Компанії *John Deere* та *CLAAS* активно впроваджують такі системи у своїх тракторах та ґрунтообробних агрегатах [2, 3].



Рис.3. Дистанційний моніторинг за станом с/г машин

4. Автоматизовані системи змащення. Сучасні агрегати обладнуються централізованими системами змащення, які автоматично подають мастило до найбільш навантажених вузлів. Це значно знижує зношування деталей і подовжує міжремонтний період.

5. Використання адитивних технологій. 3D-друк відкриває можливість швидкого виготовлення запасних частин безпосередньо у господарстві. Це особливо актуально для деталей складної геометрії та у випадках, коли оригінальні комплектуючі недоступні.

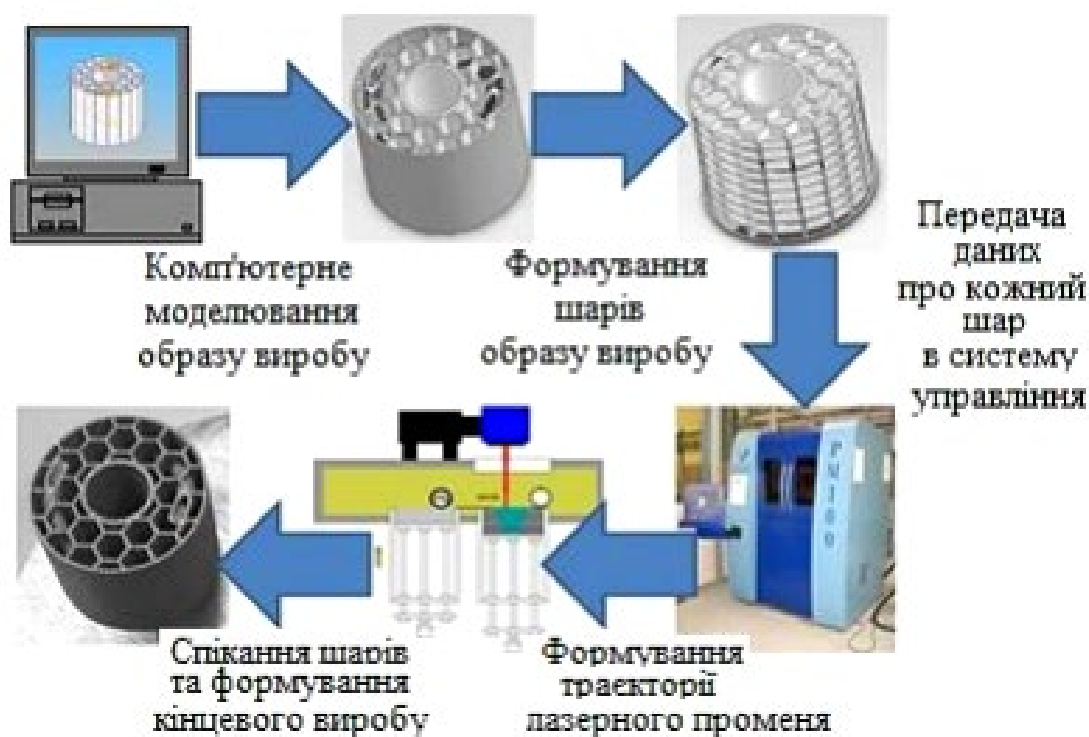


Рис.4. Загальна схема адитивного виробництва

5. Роботизація та використання дронів. Розробляються рішення для автоматизованого технічного контролю за допомогою безпілотників, які можуть обстежувати важкодоступні частини техніки, а також роботизованих систем, що виконують діагностичні та сервісні роботи.

Ефективність впровадження інноваційних методів

Застосування інновацій у сфері ТО дозволяє досягти таких результатів:

- зниження експлуатаційних витрат на 15–25 %;
- зменшення простоїв техніки до 30 %;

- продовження ресурсу окремих вузлів на 20–40 %;
- оптимізація використання пального та мастильних матеріалів;
- підвищення продуктивності праці в аграрному секторі.

У провідних аграрних країнах (США, Німеччина, Франція) ці методи вже широко застосовуються, тоді як в Україні їхнє впровадження поки що обмежене через високу вартість та недостатню підготовку персоналу.

Висновки. Інноваційні методи технічного обслуговування ґрунтообробної техніки відкривають нові можливості для підвищення ефективності аграрного виробництва. Використання сенсорних систем, телематики, предиктивної діагностики та 3D-друку сприяє зменшенню простоїв, зниженню витрат та подовженню терміну служби машин. Для успішного впровадження цих технологій в Україні необхідно забезпечити державну підтримку, розвиток сервісної інфраструктури та підготовку кваліфікованих кадрів.

Список використаних джерел

1. Коваль, С. І., Чернявський, О. В. Інноваційні технології технічного сервісу сільськогосподарської техніки. Вінниця: ВНАУ, 2021. 212 с.
2. John Deere Official Website. Precision Ag Technology. <https://www.deere.com>
3. Claas Group. Smart Farming Technologies. <https://www.claas-group.com>

Валентин ФІЛЕНКО

здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Доктор філософії»
спеціальності А5 «Професійна освіта»

Науковий керівник:

Віктор ДУГАНЕЦЬ

д.пед.н., к.т.н., професор

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ОСНОВНІ КОМПОНЕНТИ ПРОФЕСІЙНОГО ВДОСКОНАЛЕННЯ СУЧАСНОГО ВИКЛАДАЧА АГРАРНО-ІНЖЕНЕРНИХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

Сучасна система вищої освіти постійно перебуває в процесі модернізації та удосконалення освітніх педагогічних технологій. Підвищення професійного рівня викладача вимагає не лише поповнення знань, а й активного професійного саморозвитку, що відповідає запитам сучасного життя, оновленню особистісної спрямованості та розвитку професійної компетентності.

Проблема професійного розвитку педагога була і залишається актуальною до теперішнього часу, а також є проблемою дослідження вітчизняних та зарубіжних науковців. Особливо це актуально для викладачів аграрно-інженерних спеціальностей, де підготовка майбутніх фахівців потребує поєднання ґрунтовної теоретичної бази з сучасними інженерними та аграрними технологіями, знань про екологічні, цифрові та інноваційні аспекти виробництва.

Професійне вдосконалення викладача інженерних спеціальностей – це не просто самоосвіта чи підвищення кваліфікації, а безперервний процес набуття нових знань, умінь, досвіду, що відповідає динамічним вимогам професійного середовища.

Сучасний викладач аграрно-інженерних спеціальностей повинен не лише транслювати знання, а й створювати позитивне середовище для формування компетентного, критично мислячого і гнучкого у своїй професії випускника.

Виходячи з аналізу публікацій відомих науковців, вивченню підлягали самоефективність викладача в умовах післядипломної освіти; формування

професійної самосвідомості особистості та її психологічні умови; самовдосконалення педагога через підвищення професійної компетентності; комунікативна культура як важливий чинник професійного росту [1; 2; 3].

Досліджувана проблема знайшла відображення в працях багатьох дослідників, які акцентували увагу на визначенні діалектичної єдності особистісного і професійного самовдосконалення; компетентнісного підходу; порівняльного аналізу моделей професійної підготовки педагога; окресленні особливостей змісту педагогічної освіти; педагогічних умовах підготовки викладача; професійному розвитку й саморозвитку педагога.

Вдосконалення сучасного викладача аграрно-інженерних спеціальностей здійснюється через **систему взаємопов'язаних компонентів**, які охоплюють професійну, педагогічну, наукову, технологічну та особистісну сфери. Одним із основних є мотиваційно-ціннісний компонент, який формує усвідомлене ставлення викладача до безперервного саморозвитку, визначає професійні цінності, педагогічні ідеали, бажання вдосконалювати навчальний процес, включає внутрішню мотивацію до підвищення кваліфікації, інноваційності, педагогічної майстерності, що веде до прагнення викладача впроваджувати нові технології навчання, підвищувати ефективність освітнього процесу.

Не менш важливим є когнітивно-змістовий компонент, який передбачає оволодіння новими знаннями з фаху, педагогіки, психології, цифрових технологій, розвиток науково-дослідницьких умінь, аналітичного мислення, що призводить до збагачення теоретичної бази сучасних тенденцій аграрно-інженерної освіти, вивчення новітніх агротехнологій, екологічних інновацій, цифрового моніторингу в аграрній сфері.

Діяльнісно-практичний компонент включає реалізацію отриманих знань у практичній педагогічній діяльності, використання сучасних методів навчання (STEM, проєктне, дуальне, компетентнісне), участь у професійних тренінгах, семінарах, конференціях, стажуваннях з можливістю застосування цифрових симуляторів або аграрних лабораторних комплексів у навчанні студентів.

Інноваційно-технологічний компонент спрямований на інтеграцію ІКТ, цифрових платформ і смарт-технологій у навчальний процес і передбачає розвиток цифрової грамотності, уміння використовувати освітні сервіси (Moodle, Zoom, Google Classroom, Canva тощо). Крім того, він сприяє формуванню готовності до роботи в умовах цифрової трансформації освіти, створення інтерактивних курсів або віртуальних лабораторій для студентів аграрних спеціальностей.

Рефлексивно-аналітичний компонент забезпечує самооцінку професійної діяльності, аналіз власних досягнень і труднощів, дозволяє формувати індивідуальну траєкторію професійного самовдосконалення, розвиває критичне мислення, саморефлексію, здатність до самокорекції. Прикладом даного компонента може бути ведення електронного портфоліо викладача або щорічне самооцінювання педагогічної ефективності.

Комунікативно-соціальний компонент відповідає за розвиток педагогічної культури спілкування, взаємодії зі студентами, колегами, роботодавцями. Сприяє створенню професійних спільнот, участі в міжнародних програмах, міжвузівських проєктах. Формує навички лідерства, командної роботи, педагогічного партнерства, що дає можливість брати участь у спільних науково-освітніх проєктах з європейськими аграрними університетами.

Особистісно-творчий компонент визначає індивідуальний стиль викладача, його креативність і педагогічну майстерність. Сприяє розвитку гнучкості мислення, відкритості до нового, здатності до педагогічних інновацій. Підтримує психологічну стійкість і готовність до змін.

Розвиток професійної компетентності педагога зумовлений сутністю педагогічної діяльності та є системою взаємопов'язаних і взаємообумовлених елементів, а саме: соціального державного замовлення, мети, завдань і педагогічних умов професійної підготовки, технології розвитку професійної компетентності у процесі післядипломної освіти, яка деталізується у змісті, формах і методах професійного навчання вчителів, засобах її реалізації, етапах, критеріях, рівнях і результаті розвитку професійної компетентності вчителів.

Таким чином професійне самовдосконалення викладачів аграрно-інженерних спеціальностей є системним і багатогранним процесом, який охоплює оновлення знань, розвиток педагогічної майстерності, цифрової та дослідницької компетентності, інтеграцію в науково-практичне середовище. Успішна реалізація цього процесу забезпечує не лише якість підготовки фахівців аграрно-інженерного напрямку, а й підвищення престижу педагогічної праці, конкурентоспроможність закладу вищої освіти в умовах освітніх трансформацій.

Список використаних джерел

1. Гальцева Т.О. Становлення самоефективності вчителя в умовах післядипломної освіти. Випереджаюча освіта для сталого розвитку у системі інноваційної освітньої діяльності : матеріали Всеукр. Наук.-практ. Конф., 28 квітня 2015 р., м. Дніпропетровськ / ДОШПО ; наук. Ред. О. Є. Висоцька. Дніпропетровськ : Роял Принт, 2015. С. 16–18.

2. Камінська О.В. Підвищення професійної компетентності як умова самовдосконалення педагога. / Психологія і педагогіка на сучасному етапі розвитку наук: актуальні питання теорії і практики : збірник наукових робіт учасників міжнар. Наук.-практ. Конф. (16–17 грудня 2016 р., м. Одеса). Одеса : Південна фундація педагогіки, 2016. С. 39–41.

3. Карпенко Г.М. Комунікативна культура педагога – важливий чинник його професійного росту. Особистість, сім'я і суспільство: питання педагогіки та психології : зб. Тез наук. Робіт учасників міжнар. Наук.-практ. Конф. (м. Львів, 25–26 листопада 2016 року). Львів : Львівська педагогічна спільнота, 2016. С. 30–33.

Іван ФОРМАЗЮК

здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 274 «Автомобільний транспорт»

Науковий керівник:

Віталій ПУКАС

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ АВТОМОБІЛІВ НА ОСНОВІ СУЧАСНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ

Якість технічного сервісу автомобілів є критичним фактором, що безпосередньо впливає на безпеку дорожнього руху, надійність експлуатації транспортних засобів та, зрештою, на репутацію сервісного підприємства. У сучасних умовах, коли автомобілі стають дедалі складнішими, а конкуренція на ринку сервісних послуг зростає, традиційні підходи до контролю якості вже не забезпечують необхідного рівня.

Впровадження сучасних систем управління якістю (СУЯ) стає не просто бажаною, а необхідною стратегічною інновацією. СУЯ дозволяють перейти від простого контролю готового результату до системного управління всіма етапами сервісного процесу – від першого контакту з клієнтом до видачі відремонтованого автомобіля. Метою є не лише виправлення помилок, а їхнє запобігання [4,с.125-128].

Сучасне управління якістю в автомобільному сервісі ґрунтується на двох ключових підходах:

1) Стандартизація (ISO 9001). Цей підхід фокусується на документуванні, впровадженні та підтримці стандартизованих процесів. Сертифікація за ISO 9001 демонструє, що підприємство має стабільні, відтворювані процеси, які орієнтовані на задоволення вимог клієнта та законодавства. Це є фундаментом для забезпечення базової, гарантованої якості послуг.

2) Всеохопне управління якістю (TQM). TQM – це філософія, що вимагає постійного вдосконалення і залучення всього персоналу до роботи над якістю. Основні принципи TQM у сервісі включають:

- Орієнтація на клієнта – визначення та перевищення його очікувань.
- Залучення персоналу – створення системи, де кожен співробітник відповідає за якість своєї роботи.
- Процесний підхід – розгляд сервісного обслуговування як сукупності взаємопов'язаних процесів.
- Постійне вдосконалення (Kaizen) – впровадження циклу PDCA (Plan-Do-Check-Act) для безперервного поліпшення [1].

Для ефективної реалізації СУЯ в автомобільному сервісі застосовується низка інструментів, що дозволяють об'єктивно оцінювати та поліпшувати якість:

- Картування процесів (Process Mapping) – візуалізація всього процесу обслуговування (від запису до видачі авто) для ідентифікації «вузьких місць», зайвих кроків та джерел потенційних помилок.
- Статистичне управління процесами (SPC) – використання контрольних карт та статистичного аналізу для моніторингу ключових параметрів якості (наприклад, час ремонту, кількість повторних звернень) та своєчасного реагування на відхилення.
- Аналіз першопричин (Root Cause Analysis) – застосування методів, як-от «5 чому» або діаграма Ісікави (риб'ячий кістяк), для встановлення справжніх причин дефектів, а не лише їхніх зовнішніх проявів. Це дозволяє впроваджувати ефективні коригувальні дії.
- Аудити якості – регулярні внутрішні та зовнішні перевірки, які оцінюють відповідність фактичних процесів встановленим стандартам та вимогам СУЯ [3, с.626].

Впровадження СУЯ на підприємстві технічного сервісу вимагає послідовності та залучення керівництва:

- 1) Визначення політики якості: Формулювання чітких, вимірюваних цілей, що стосуються часу ремонту, кількості скарг, кваліфікації персоналу тощо.

2) Документування процесів: Створення стандартизованих робочих інструкцій для всіх ключових операцій (діагностика, ремонт, прийомка, видача), що забезпечує їхню однозначність та відтворюваність.

3) Навчання та мотивація персоналу: Проведення тренінгів із принципів якості, стандартів та використання діагностичного обладнання. Створення системи мотивації, орієнтованої на якість виконаних робіт, а не лише на їхній обсяг.

4) Впровадження системи зворотного зв'язку: Систематичний збір та аналіз відгуків клієнтів (опитування, аналіз скарг) для виявлення зон, які потребують вдосконалення [2, с.177].

Підвищення якості технічного сервісу автомобілів на основі сучасних систем управління якістю є стратегічною інвестицією, а не просто додатковими витратами. Комплексне застосування стандартів ISO 9001 та філософії TQM дозволяє сервісним підприємствам досягти стійкого поліпшення всіх аспектів роботи. Результатом є не тільки скорочення кількості дефектів та повторних ремонтів, але й зростання лояльності клієнтів, що є найважливішим показником ефективності у сфері послуг. Постійне вдосконалення, закладене у принципи СУЯ, гарантує, що сервісний центр залишатиметься конкурентоспроможним у динамічному автомобільному ринку.

Список використаних джерел

1. Валера Ф. (2025). Автомобільна система управління якістю (QMS): повний посібник. Visure. <https://visuresolutions.com/uk/автомобільний/система-менеджменту-якості-QMS/>.

2. Лебединець В.О., Прохоренко О.В. (2020). Запровадження системи управління якістю на промисловому підприємстві: проблеми та ризики *Проблеми економіки*, 4(46), 177-186.

3. https://www.problecon.com/export_pdf/problems-of-economy-2020-4_0-pages-177_186.pdf.

4. Панчук О.В. (2017). Удосконалення системи управління якістю транспортних послуг. *Глобальні та національні проблеми економіки*, 19, 626-630. <http://global-national.in.ua/archive/19-2017/121.pdf>.

5. Янушкевич Д.А., Іванов Л.С., Редькін К.С. (2025). Сучасні технології систем управління якістю Quality 5.0 та їх впровадження на підприємствах. Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки: тези доповідей II-ї Всеукраїнської конференції, 16-17 травня 2025. Харків, 2025. – С. 125-128. <https://openarchive.nure.ua/entities/publication/d2602294-ed03-4a72-8b93-edac80272799>.

Олександр ШЕШЕНЯ

здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 252 «Безпека державного кордону»

Науковий керівник:

Віктор ЧМИР

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Національна академія

Державної прикордонної служби України

імені Богдана Хмельницького»

ДОСВІД ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ МАШИН ДЕРЖАВ-ЧЛЕНІВ НАТО ТА ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЙОГО ВПРОВАДЖЕННЯ В УКРАЇНСЬКИЙ ОБОРОННО-ПРОМИСЛОВИЙ КОМПЛЕКС

На сучасному етапі сектор безпеки й оборони України перебуває у фазі масштабної технічної модернізації. Відбувається поступовий відхід від радянських зразків озброєння та їхня заміна на техніку стандартів НАТО (Leopard, Bradley, CV90 та ін.). Такий процес передбачає не лише підготовку особового складу до експлуатації нових систем, але й інтеграцію у логістичну інфраструктуру та систему технічного обслуговування Альянсу.

Метою доповіді є вивчення основних принципів, організаційних моделей та ключових викликів у сфері технічного сервісу військової техніки НАТО, а також у виробленні практичних рекомендацій щодо їх адаптації та впровадження в український оборонно-промисловий комплекс.

Технічний сервіс (Technical Service) у концепції НАТО розуміється як комплексна система управління життєвим циклом (Lifecycle Management) озброєння й військової техніки [1, с. 22]. Вона включає технічне обслуговування, ремонт, відновлення, модернізацію та забезпечення логістичної підтримки згідно з єдиними стандартами підтримання боєздатності.

Фундаментальні принципи системи технічного сервісу НАТО наступні.

Стандартизація (STANAG) – основа взаємосумісності. Угоди зі стандартизації (STANAG) мають ключове значення для інтеграції та спільного використання військової техніки й ресурсів держав-членів [2, с 5]. Вони забезпечують уніфікацію технічної документації, паливно-мастильних матеріалів, інтерфейсів та процедур технічного обслуговування [3, с. 58]. Однією з центральних вимог є взаємозамінність компонентів, що дозволяє здійснювати швидкий ремонт техніки однієї країни за допомогою ресурсів іншої. Цей підхід відображає принцип «Plug and Play» у логістичних процесах НАТО.

Багаторівнева система технічного обслуговування (Levels of Maintenance).

Організація сервісу військової техніки в НАТО передбачає чіткий розподіл відповідальності за рівнями:

Організаційний (польовий) рівень (Unit Level). Це перший та другий рівні обслуговування, які виконуються екіпажами та техніками безпосередньо у підрозділах. Основний акцент робиться на швидкому відновленні боєздатності (Return to Combat Ready) протягом декількох годин.

Середній (польовий) рівень (Intermediate/Field Level). Включає більш складні ремонтні операції та заміну великих агрегатів. Такі роботи здійснюють спеціалізовані ремонтні роти чи батальйони у тилкових районах проведення операцій.

Депо/національний рівень (Depot/National Level). Передбачає проведення капітального ремонту, повної реновації та глибокої модернізації техніки. Виконання цих робіт покладається на національні ремонтні підприємства або безпосередньо на виробників.

Принцип модульності та логістична сумісність.

Модульний дизайн: конструктивне використання модулів, які можуть бути швидко замінені в польових умовах (наприклад, Power Pack – цілісний силовий блок).

Концепція CL-II (Contractor Logistics Support): широке залучення цивільних виробників (ОЕМ) та підрядників для постачання запчастин, технічного супроводу,

оновлення програмного забезпечення та капітального ремонту високотехнологічної техніки [4, с. 15].

Виклики «високоінтенсивної війни» для України.

Інтенсивність бойових дій в Україні значно перевищує масштаби більшості експедиційних операцій НАТО, що вимагає прискорення ремонтних процесів щонайменше у 2–3 рази.

Стандарти STANAG потребують адаптації до умов високого рівня вогневого контакту, коли мобільні ремонтні групи змушені виконувати завдання безпосередньо поблизу лінії фронту.

Головні висновки з досвіду Альянсу.

Ефективність технічного сервісу НАТО базується на системній інтеграції (люди, процеси, технології), а не лише на якості техніки.

Ключові показники: коефіцієнт технічної готовності (КТГ) та час відновлення боєздатності.

Рекомендації для імплементації в Україні [6, с. 7].

Розвиток власної бази CL-II: Створення спільних ремонтних підприємств на території України з виробниками техніки НАТО (Rheinmetall, BAE Systems, General Dynamics) для локалізації ремонту середнього та вищого рівнів.

Інвестиції в технічні кадри: Прискорене впровадження стандартизованих навчальних програм НАТО для техніків з акцентом на електроніку, діагностику та прогностичне обслуговування.

Цифрова логістика: Впровадження єдиної електронної системи обліку техніки та її стану (по типу SAP або аналогів), що дозволить перейти до моделі Predictive Maintenance.

Посилення польового сервісу: Нарощування мобільності, захищеності та автономності ремонтних груп, здатних працювати в умовах високого ризику.

Список використаних джерел

1. Іванов О. П. Управління життєвим циклом військової техніки в умовах гібридної війни: навч. Посіб. Київ: Оборонні Технології, 2023. 180 с.

2. AJP-4.10. Allied Joint Doctrine for Logistic Support. NATO Standardization Agency, 2024.
3. STANAG 4107. Mutual Acceptance of Government Quality Assurance of Defence Procurements. NATO Standardization Agency, 2023.
4. Defense Logistics Agency (DLA). Report on CLS Implementation in Expeditionary Operations (Iraq/Afghanistan). Washington D.C., 2020.
5. Стеценко В. Р. Прогностичне обслуговування (P-Maint) у військово-технічних системах. Звіт НДІ МОУ. 2024. 240 с.
6. Петренко Т. С. Інтеграція України в логістичну систему НАТО: виклики та шляхи вирішення. Аналітична доповідь. Київ: Центр безпекових досліджень, 2024.

СЕКЦІЯ 2

НАУКА І ПРАКТИКА: ШЛЯХ ВІД РЕАЛІЙ ДО ПЕРСПЕКТИВ SCIENCE AND PRACTICE: THE PATH FROM REALITIES TO PROSPECTS

Богдан БИСТРИЦЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Роман КУШИМ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Роман ЗІНЧЕНКО

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Володимир КУЛИКІВСЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

РОБОЧІ ОРГАНИ СІВАЛОК ДЛЯ ПРЯМОГО ПОСІВУ

Метод прямого посіву або No-till передбачає висівання насіння без традиційного передпосівного обробітку. Відсутність оранки зберігає структуру ґрунту, запобігає ерозії та економить паливо, але істотно змінює умови роботи посівної техніки. Основним елементом, який забезпечує утворення борозни й укладання насіння, є сошник. Він повинен розрізати покрив рослинних решток, розсунути ґрунт на потрібну глибину, тимчасово утримати борозну відкритою для висіву і забезпечити загортання насіння [1]. Правильно підібраний сошник дозволяє отримати дружні сходи та стабільний урожай. Сучасні дослідження пропонують

різні конструкції робочих органів, які відрізняються формою борозни, матеріалом і методами підвищення зносостійкості.

Практика прямого посіву показала, що найважливішою характеристикою сошника є форма поперечного перерізу борозни. Від кута входження і геометрії робочої частини залежить мікроструктура ґрунту, що впливає на проростання зерна. Сошники з тупим кутом входження переміщують ґрунт зверху вниз і ущільнюють дно борозни, тоді як з гострим кутом – піднімають ґрунт знизу вверх, а з прямим – відсовують його у сторони [1]. Поширеними формами борозен є V-подібна, U-подібна та перевернута T-подібна [1]. Вимоги до робочого органа включають здатність формувати очищену від рослинних решток борозну, утримувати постійну глибину висіву, працювати із тиском до 20 км/год, очищуватися від налипання і мати великий ресурс служби.

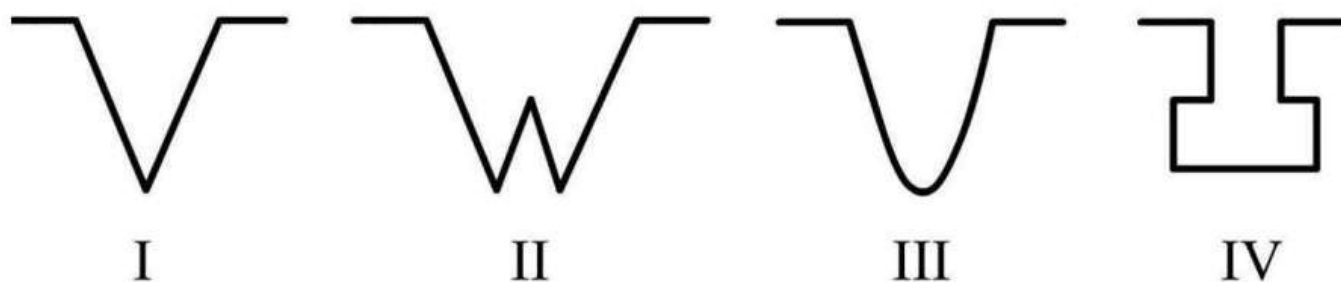


Рис. 1. Форми борозен: I – V-подібна, II – W-подібна, III – U-подібна, IV – перевернута, T-подібна.

Однодисковий сошник – найпростіший робочий орган для прямого посіву. Він складається з вертикального або злегка нахилоного диска, який розрізає рослинні рештки та створює вузьку борозну. У сівалках використовують зубчасті або опуклі диски; нахил 3–7° полегшує проникнення та частково зміщує рослинні рештки. Переваги однодискових сошників: хороша придатність для сівби по мульчі, мінімальне технічне обслуговування і проста конструкція. Недоліком є односторонній тиск на навіску, що через деякий час викликає нерівномірну глибину висіву та можливу появу «подвійного ряду» між сусідніми робочими органами. Окремі виробники оснащують такі сошники прикочувальними колесами для стабілізації глибини [1].



Рис. 2. Секція з однодисковим сошником сівалки Väderstad [2].

Дводисковий сошник є найбільш поширеним робочим органом на зернових і зернотрав'яних сівалках. Він має литий корпус з двома дисками, що сходяться під кутом і утворюють V-подібний клин. Під час руху диски розсувають ґрунт у різні боки, утворюючи борозну, але всередині між дисками може виникати W-подібний профіль дна, що призводить до нерівномірного розміщення насіння. Такий сошник добре працює у важких ґрунтах з великою кількістю рослинних решток, забезпечуючи загортання насіння на глибину до 9 см. Основні недоліки: частина насіння торкається внутрішніх поверхонь дисків і викидається на поверхню, що знижує рівномірність висіву; у вологому ґрунті можливе налипання і забивання дисків. Для покращення розподілу насіння пропонують встановлювати між дисками нерухому п'ятку та напрямні щоки [1].

У модифікаціях, де диски розташовані під кутом до напрямку руху, дводискові сошники формують V-подібну борозну, але дозволяють краще управляти рослинними рештками. Один диск може випереджати інший, утворюючи ріжучий край і запобігаючи забиванню мульчею. Існують варіанти з дисками різного діаметра або з додатковим третім диском; останній розрізає рослинні рештки перед основними дисками й зменшує вдавлювання залишків у насіннєве ложе. Переваги

вертикальних дводискових і тридискових сошників полягають у простоті конструкції, низьких витратах на обслуговування та здатності проникати крізь рослинні рештки. Серед недоліків відзначають велику потребу в тяговому зусиллі, схильність до ущільнення ґрунту та погану здатність розділяти насіння і добрива.

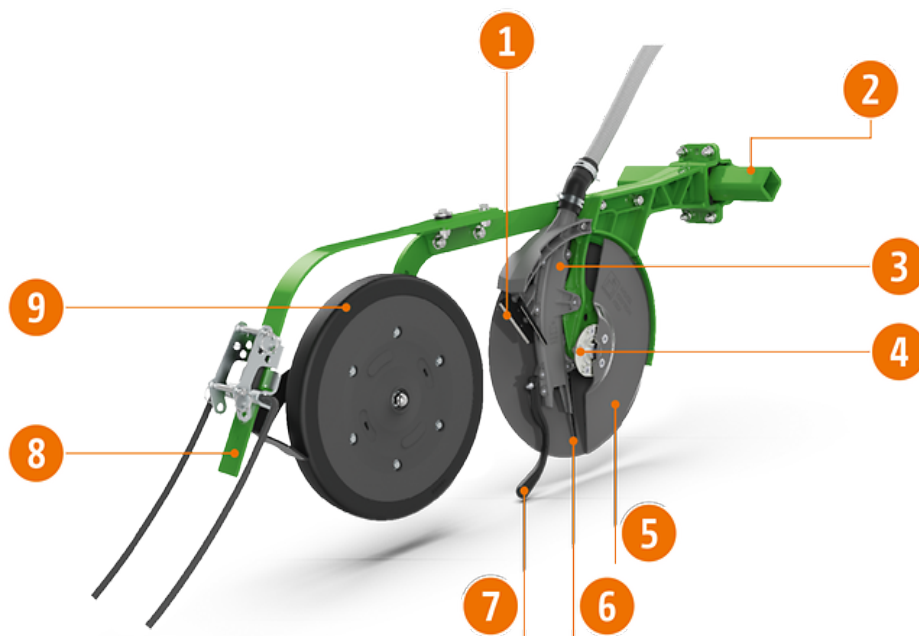


Рис. 2. Секція з дводисковим сошником сівалки AMAZONE [3]:

1 – внутрішні скребки, 2 – гідравлічне регулювання тиску сошників від 0 до 100 кг, 3 – змінне направляюче обладнання для насіння, 4 – підшипники, що не потребують обслуговування, без точок змащення на сошнику, що не потребує обслуговування, 5 – подвійний диск $\varnothing$ 380 мм, кут 10° , 6 – подовжувач направляючої, 7 – уловлювач насіння, 8 – висівний шкребок з регульованим кутом, 9 – тримач колеса з катком контролю глибини Control+ шириною 50, 65 або 75 мм.

Анкерний тип представляє собою вузький виступ чи лапу, що проникає у ґрунт. Насіння подається через порожнину в середині анкера або по трубці, приєднаній ззаду. Під час роботи анкер викидає ґрунт вгору, формуючи U-подібну борозну. Переваги анкерних сошників – відносно низька вартість, можливість одночасного висіву насіння та добрив і відсутність затискання рослинних решток. До недоліків належать швидке зношування, погана керованість рослинними

рештками, розмазування вологого ґрунту та обмежена робоча швидкість (6–9 км/год)

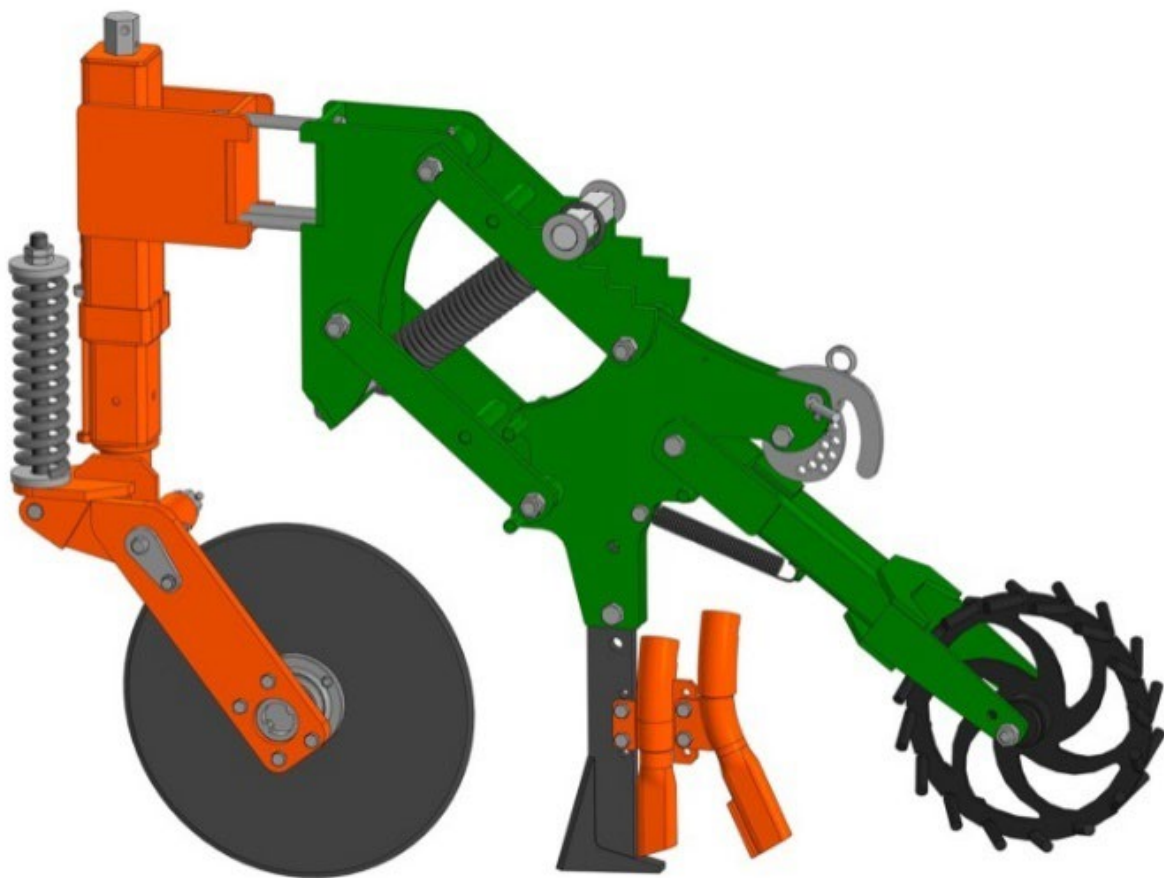


Рис. 3. Посівна секція з анкерним сошником

Сошники з індивідуальним приводом є мініатюрними обертовими культиваторами. Кожен ротор утворює U-подібну борозну, змішуючи насіння або добрива із ґрунтом [1]. У сучасних конструкціях ножі монтують парами; іноді вони працюють разом із розрізаючим хвилястим диском, розміщеним перед ротором. Перевагами є здатність працювати на ділянках, де інші сошники не справляються (наприклад, на перезволожених пасовищах), змішування рослинних решток із ґрунтом і невелика сила проникнення. Серед недоліків – складність конструкції, швидке зношування обертових частин та погане розділення насіння і добрив.

Дисково-анкерні сошники поєднують переваги диска й анкера й створюють перевернуту T-подібну борозну. Найвідомішою реалізацією є система Cross Slot®, розроблена на основі 30-річних досліджень в університеті Мейсі. Відмінність цієї

технології полягає у горизонтальній борозні: вертикальний ріжучий диск робить проріз, а за ним крило-анкер утворює дві горизонтальні полиці, куди роздільно подаються насіння та добрива. Посівний матеріал розташовується під горизонтальним крилом ґрунту; це гарантує надійне покриття насіння та захист від пересихання. Cross Slot ® здатний працювати у великих пожнивних рештках, окремо вносити насіння і добрива, підтримувати сталу глибину завдяки індивідуальним гідроциліндрам і створювати просторовий бар'єр між добривом і насінням. Серед переваг також універсальність щодо типів ґрунтів, відсутність забивання та можливість працювати без попереднього вирівнювання поля



Рис. 4. Дисково-анкерний сошник Cross Slot

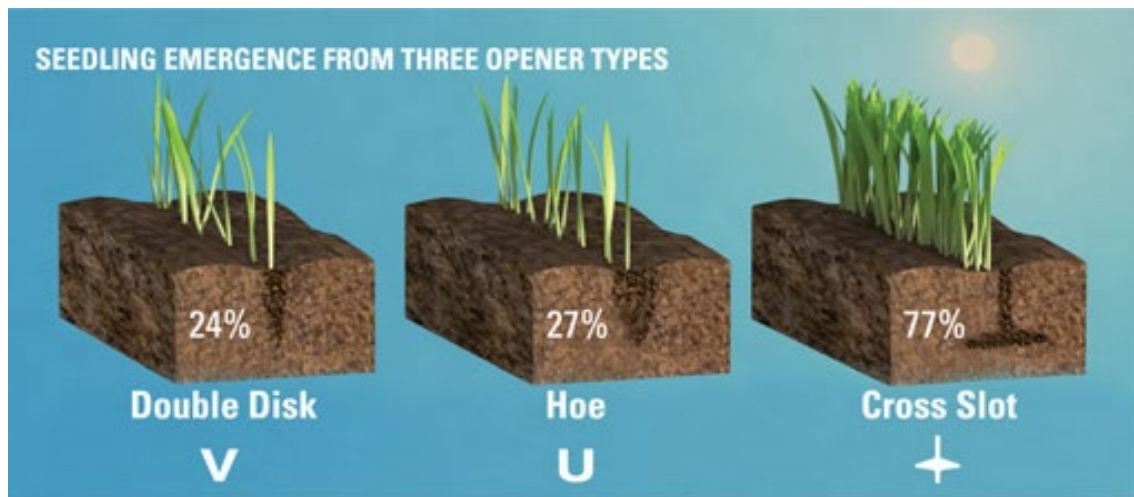


Рис. 5. Порівняння системи Cross Slot зі стандартними системами посіву.

Матеріал робочих органів повинен забезпечувати високу зносостійкість, міцність і здатність протистояти корозії. Для вітчизняних сівалок сошники виготовляють із вуглецевої пружинної сталі 65Г або замінників – сталі М76 чи 45, які після термічної обробки мають твердість 39–44 HRC. Іноземні виробники застосовують леговані боровані сталі: наприклад, фірма Bellota використовує сталь 28MnB5, а компанія Case IH – власну марку Earth Metal [4]. У дослідженні з ремонту сошників Kverneland Optima HD та Kuhn Planter відзначено, що деталі зносостійких сталей 30MnB5, Hardox 500 і Hardox 600 мають високу довговічність, а їх поверхневе наплавлення зносостійкими дротами значно підвищує ресурс.

Для підвищення ресурсу робочі органи виготовляють із багатошарових або композитних матеріалів. Біметалеві лемеші трапецієподібної форми виробляють з двошаровою лезовою частиною: тверда сталь Х6Ф1 утворює нижній шар, а м'якіша сталь Л-53 – верхній, що забезпечує ефект самозаточування. Імпортні дискові сошники іноді оснащують вставками з твердосплавних пластин (вольфрамовий карбід) по ріжучій кромці, що на порядок збільшує ресурс.

Підвищення зносостійкості сошників є актуальним завданням, оскільки в умовах прямого посіву вони працюють у жорсткому абразивному середовищі. Аналіз літературних джерел свідчить, що напрями підвищення довговічності включають: використання зносостійких матеріалів, багатошарового прокату, термічної та термохімічної обробки, розробку складових (змінних) робочих органів, наплавлення і напилення зносостійкими матеріалами.

Звичайне гартування забезпечує твердість 40–46 HRC для сталі 45 і 55–61 HRC для сталі 65Г, проте зносостійкість таких деталей менша порівняно з деталями зі спеціальних сталей. Для підвищення зносостійкості застосовують диференційне загартування, цементацію, нитроцементацію або борування. Термічна обробка комбінується з поверхневим легуванням бором або азотом, що створює тверді зміцнені шари товщиною 1–2 мм. Такі шари суттєво підвищують твердість і стійкість до абразивного зношування.

Найпоширенішим способом відновлення та зміцнення сошників є дугове наплавлення. Карбовібродуговий метод із застосуванням вугільного електрода і металокерамічних паст дозволяє одержати покриття з підвищеною твердістю; лабораторні дослідження показали, що таке наплавлення забезпечує зносостійкість у 4,03–10,55 разів вищу, ніж у нового диска з легованої сталі 28MnB5 [4]. Для відновлення деталей із сталей 30MnB5, Hardox 500 та Hardox 600 ефективним є наплавлення порошковими дротами типу ПП-180Х9, що підвищує відносну зносостійкість у 7–13 разів [5]. Важливо регулювати висоту та крок наплавлення; комбінація твердих і м'яких ділянок забезпечує самозаточування леза та знижує тяговий опір агрегату.

Газотермічне напилення (плазмове чи детонаційне) формує на лезі шар карбідів високої твердості, зменшує час зміцнення і може знизити вартість робіт. До сучасних методів належить лазерна термообробка та лазерне наплавлення. Лазерне зміцнення дисків зі сталі 65Г створює зміцнену зону шириною 15–16 мм; експериментальні диски після лазерної обробки мали менший знос по масі на 31% порівняно з серійними. Лазерне наплавлення сплавом ПС-14-60+6%B4C знижує інтенсивність зносу в 1,7–1,8 разів порівняно з індукційним гартуванням [4].

Для збереження геометрії сошників під час роботи використовують локальне дискретне зміцнення. Наприклад, електродугове зміцнення електродами Т620 з нанесенням трьох смуг шириною 10 мм і кроком 15 мм забезпечує кероване зношування й формування зубчастої кромки, що полегшує різання і сприяє самозаточуванню [4]. Застосування двошарових біметалічних деталей (твердий низ – м'який верх) також забезпечує вибіркове зношування: м'який шар стирається

швидше, оголюючи твердий ріжучий край. У випадку дисково-анкерних сошників Cross Slot, заводські деталі виготовляють з високоякісних зносостійких матеріалів, а замінні елементи дозволяють швидко ремонтувати робочі органи, зменшуючи простої в полі.

Ефективний прямий посів неможливий без адаптованих робочих органів. Аналіз сучасних конструкцій показав, що однодискові сошники відзначаються простотою і хорошим проникненням у мульчу, але можуть викликати нерівномірну глибину висіву. Дводискові та тридискові сошники забезпечують стабільну V-подібну борозну, працюють у широкому діапазоні умов, однак схильні до ущільнення ґрунту й погано розділяють насіння та добрива. Анкерні сошники формують U-подібну борозну і дозволяють одночасно вносити насіння та добрива, проте швидко зношуються та мають обмежену швидкість. Сошники з індивідуальним приводом і дисково-анкерні системи Cross Slot є перспективними для важких умов: перші змішують рослинні рештки, а другі утворюють перевернуту Т-подібну борозну й розділяють насіння і добрива, забезпечуючи оптимальний мікроклімат. Вибір конкретного типу залежить від виду культури, стану поверхні, кількості пожнивних решток та агрокліматичних умов.

Матеріали сошників за останні роки еволюціонували від пружинної сталі 65Г до легованих борованих сталей (28MnB5, Hardox500/600) та композиційних біметалів. Для підвищення зносостійкості використовують термічну та термохімічну обробку, дугове та лазерне наплавлення твердих сплавів, газотермічне напилення й локальні зміцнення, що забезпечують ефект самозаточування. Комплексне застосування цих методів дозволяє збільшити ресурс сошників у декілька разів і мінімізувати простої техніки під час посівної.

Список використаних джерел

1. Сало В., Гайденко О. Основні типи сошників для прямої сівби зернових культур. Агротехнології сьогодні. URL: <https://surl.lujdyeky>.
2. Офіційний сайт Väderstad. URL: <https://www.vaderstad.com/se>.
3. Офіційний сайт AMAZONE. URL: <https://amazone.net/ua>.
4. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. Д-ра. Техн. Наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

Володимир ВОЛЬСЬКИЙ

канд. техн. Наук, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

Ростислав КОЦЮБАНСЬКИЙ

доктор філософії, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

Богдан ПОЛЬОВИЙ

пошукач, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР З ВИКОРИСТАННЯМ ГРУНТООБРОБНО-УДОБРЮВАЛЬНО-ПОСІВНИХ КОМПЛЕКСІВ

Розробку ефективних методів вдосконалення технологічних процесів в сільгоспвиробництві можна здійснити, спираючись на системний підхід до проблеми. В цьому випадку поєднання окремих явищ, предметів розглядається як єдине ціле – система. Основним завданням системного підходу є виявлення нових властивостей такого поєднання, які не властиві жодному окремому елементу системи.

В якості методу системного підходу використовується системний аналіз, під яким розуміється сукупність прийомів і методів для вивчення систем. Як відомо, характеристикою взаємодії елементів системи є прямі і зворотні зв'язки. Суть системного аналізу – виявити ці зв'язки і встановити їх вплив на усю систему [1].

Системний аналіз впроваджується для того, щоб оптимізувати процеси управління системами, що є вибором такого процесу, який забезпечує мінімальне або максимальне значення критерію оптимізації.

Будучи елементом системи, будь-яка операція характеризується конкретним значенням в межах конкретного технологічного процесу, але потрібне кінцеве значення якості забезпечиться у разі, коли будуть виконана певна сукупність конкретних операцій. Отже, у випадку застосування цього положення до технологічних процесів як системи взаємозв'язаних технологічних операцій, системний підхід при вдосконаленні конкретної технологічної операції припускає мати на увазі її кінцеву мету.

Системний підхід призначений для ув'язки і узагальнення усіх засобів, використовуваних для того, щоб удосконалювати технологічний процес [2]:

- науково-технічні дані;
- інновації у виробництві;
- управління технологічним процесом.

При цьому підході забезпечується отримання кількісних оцінок вживаних методів вдосконалення і з'являється можливість визначення шляхів, понад усе доцільних і дозволяючих впровадити вибраний метод у виробництво.

Отже, системний підхід припускає принципово новий напрям, сприяючий виявленню конкретних механізмів цілісності об'єкту, а також що визначає принцип аналізу даних складних об'єктів, що складаються з безлічі компонентів, причому з використанням принципу: найбільша важливість зв'язків для системи в цілому при різноманітті типів в кожній конкретній системі.

Системний підхід в дослідженні різних технологій застосовується для того, щоб отримати об'єктивну кількісну оцінку конкретних дій, які спрямовані на вдосконалення об'єкту дослідження. В ході проведення вказаної оцінки використовуються загальні принципи теорії систем, теоретичні і експериментальні дані про досліджувані технологічні процеси [2].

Процеси аналізу і синтезу технологічних систем ґрунтуються на тому, що конкретний елемент розглядається як технологічний оператор, що перетворює кожен параметр вхідних потоків в параметр вихідних потоків.

Взаємний вплив технологічних операторів і довкілля позначається у формі технологічних зв'язків, кожна з яких характеризує певний технологічний потік.

При системному підході до дослідження і удосконалення різних процесів передбачається їх розподіл до підсистем по різних параметрах. При цьому завдання представляються у вигляді операторів.

Список використаних джерел

1. Насонов В.А., Адамчук В.В., Пономар Ю.В., Корнюшин В.М., Сідий М.О. Сільськогосподарський агрегат / Патент на винахід № 128834, Україна. 4с.
2. Bulgakov V., Volskiy V., Pascuzzi S., Ivanovs S. Experimental investigations in draft resistance of spherical working tool of disk harrow / Engineering for rural development. 18-th International Scientific Conference. Proceedings – Volume 18, Jelgava, 2019. С. 144-152.

Володимир ВОЛЬСЬКИЙ

канд. техн. Наук, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України,

Ростислав КОЦЮБАНСЬКИЙ

доктор філософії, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

Богдан ПОЛЬОВИЙ

пошукач, Інститут механіки та
автоматики агропромислового виробництва
Національної академії аграрних наук України

КОНЦЕПЦІЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕДПОСІВНОЇ ПІДГОТОВКИ ҐРУНТУ І ПОСІВУ ЗЕРНОВИХ КУЛЬТУР

Підвищення продуктивності зернових культур з одночасним зниженням енергоємності і собівартості виробництва зерна є актуальним завданням в сільськогосподарському виробництві.

Використовувана сьогодні в Україні технологія передпосівної підготовки ґрунту і посіву зернових культур передбачає різні ланки (сівозміни, система підготовки ґрунту і посіву, добриво, захист рослин, збирання врожаю і так далі), що включають конкретні блоки. Так, система підготовки ґрунту і посіву включає блоки:

- внесення добрив;
- основна обробка;
- передпосівна обробка;
- посів;
- догляд за посівами.

Блоки можуть бути багатоваріантними в плані виконання (технологічні модулі), що визначається агроекологічними чинниками.

Зміст основної і передпосівної обробки ґрунтів визначається попередником, типом ґрунтів. При цьому передбачається виконання наступних операцій: лущення стерні, оранка або безвідвальна обробка, передпосівне боронування, культивація і накочення.

Важливим прийомом, спрямованим на підвищення врожайності і поліпшення насінних якостей зерна зернових культур, є посів в оптимальні терміни.

Результати багаторічних досліджень показують, що рослини, що добре розкущилися з осені, наприклад, озимого ячменю, які сформували потужну кореневу систему і пройшли «загартування», комфортно переносять зиму, навіть сувору. У разі зміни терміну посіву міняються і чинники зовнішнього середовища, що чинять помітний вплив на ріст і розвиток рослин: температура, світло вологість і так далі.

У разі раннього терміну посіву рослини зернових культур дуже погано переносять зиму. Як наслідок – посіви проріджуються. Причина – передчасний розвиток конуса наростання головного стебла, яке зазвичай вимерзає, що чинить негативний вплив на урожай зерна.

У разі пізнього терміну посіву через слабку кущуватість і погане перезимовування також спостерігається помітне зниження урожаю зернових культур. Виходячи з цього як ранні терміни посіву, так і пізні, ведуть до істотного зниження урожаю зерна.

Серед агротехнічних прийомів, які забезпечують отримання високих урожаїв зернових культур, велике значення має посів з дотриманням оптимальних норм висіву насіння. І проріджені, і загущені посіви призводять до зниження урожаю. Підвищені норми висіву насіння сприяють тому, що збільшується кількість продуктивних стебел на одиницю площі посіву, що, у свою чергу, знижує продуктивну кущуватість.

При посіві в оптимальні терміни в добре підготовлений і досить зволожений ґрунт норма висіву озимої пшениці рекомендується в межах 4,5. 5,0 млн.всх.с./га. Норма висіву насіння встановлюється так, щоб отримати до моменту збирання

врожаю в зволожених районах 500...600, а в районах з недостатнім зволоженням 350...450 продуктивних стебел на 1 м².

Таким чином, технологічний процес передпосівної підготовки ґрунту і посіву зернових культур припускає здійснення численних технологічних операцій при передпосівній підготовці ґрунту і підвищені норми висіву насіння.

Основним резервом енергозбереження в сільськогосподарському виробництві слід визнати механізацію трудомістких процесів, засновану на інноваційних технологіях передпосівної підготовки ґрунту і посіву.

Аналіз стану проблеми в цій області дозволив сформулювати концептуальну схему ресурсозберігання при передпосівній підготовці ґрунту і посіву зернових культур (рисунок 1).

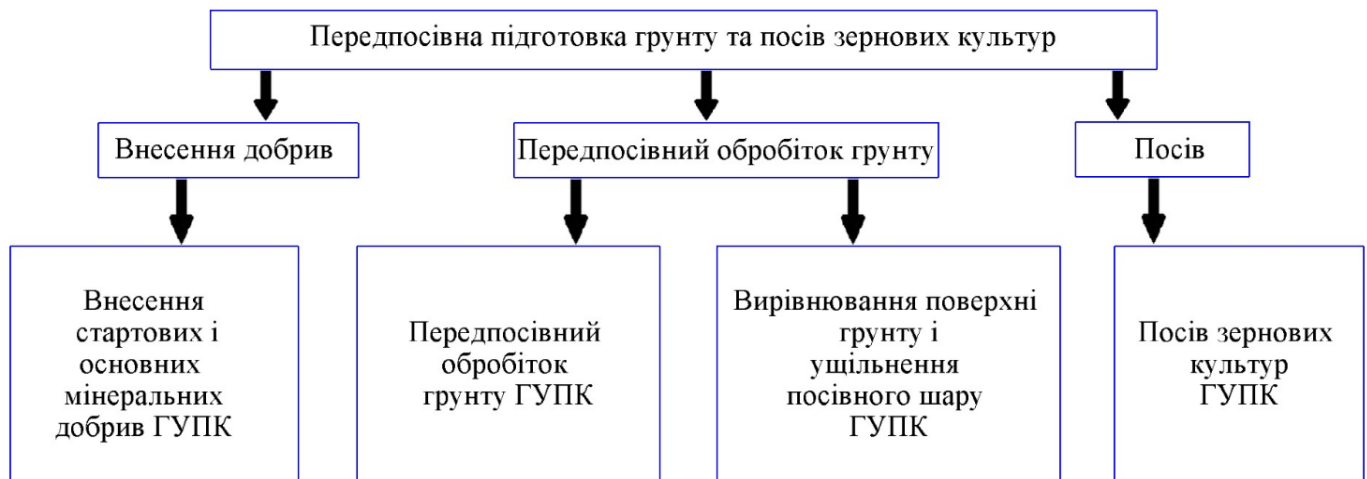


Рис. 1 – Концептуальна схема ресурсозберігання (енергоощадження)

Вона включає:

- внесення стартових і основних мінеральних добрив з використанням розробленого ґрунтообробно-удобрювально-посівного комплексу;
- передпосівну підготовку ґрунту з використанням розробленого ґрунтообробно-удобрювально-посівного комплексу;
- вирівнювання поверхні ґрунту і ущільнення посівного шару з використанням розробленого ґрунтообробно-удобрювально-посівного комплексу;
- посів з використанням розробленого ґрунтообробно-удобрювально-посівного комплексу.

Список використаних джерел

1. Адамчук В.В., Насонов В.А., Булгаков В.М., Кюрчев В.М. та ін. Розроблення і впровадження в агропромислове виробництво комплексів технічних засобів для вирощування зернових та інших культур за енерго-, ресурсоощадними технологіями: монографія /за ред. Акад. НААН В.В. Адамчука. Київ: Аграрна наука. 2016. 368 с.
2. Bulgakov V., Volskiy V., Pascuzzi S., Ivanovs S. Experimental investigations in draft resistance of spherical working tool of disk harrow / Engineering for rural development. 18-th International Scientific Conference. Proceedings – Volume 18, Jelgava, 2019. С. 144-152.
3. Насонов В.А., Адамчук В.В., Пономар Ю.В., Корнюшин В.М., Сідий М.О. Сільськогосподарський агрегат / Патент на винахід № 128834, Україна. 4с.

ВПЛИВ РЕЖИМІВ ЧАСТОТНО МОДУЛЬОВАНИХ КОЛИВАНЬ НА ЗНЯТТЯ ЗВАРЮВАЛЬНИХ НАПРУЖЕНЬ І ДЕФОРМАЦІЙ

Частотно модульоване коливання при зварюванні – це процес, при якому частота високочастотного коливання (несучого сигналу) зварювального струму змінюється за певним законом, залежно від інформаційного сигналу, який може контролювати форму, глибину або інші параметри зварювальної дуги. На відміну від амплітудної модуляції, амплітуда несучого коливання залишається сталою, що дозволяє керувати процесом зварювання шляхом зміни частоти.

Важливою особливістю процесу кристалізації зварювальної ванни, порівняно з литою заготовкою, є високі швидкості охолодження та невеликий об'єм розплавленого металу. Структурні перетворення під час зварювання мають свою специфіку, яка полягає в їхньому протіканні за нерівноважних умов термодформаційного циклу зварювання. Це відбувається при нагріванні до температури плавлення металу, за високих швидкостей як нагрівання, так і охолодження, а також на фоні формування зварювальних деформацій та напружень. За даних умов при кожній поточній температурі перетворення не всі процеси встигають завершитися до досягнення рівноважного стану, характерного для заданої температури. Це, своєю чергою, при певному рівні перегріву або переохолодження спричиняє збереження частини початкової фази матеріалу. Тип перетворень визначається хімічним складом сплаву та температурою нагрівання, а їх повнота залежить від параметрів термо-деформаційного циклу зварювання. Кристалізація металу під час зварювання має чітко виражений спрямований характер, що обумовлено відведенням тепла до основного металу та навколишнього середовища через суттєву різницю температур при локальній дії джерел тепла. У зварювальній ванні зазвичай починають формуватися стовпчасті кристали, які ростуть від

частково оплавлених зерен основного металу до центру металу у шві. У центральній частині шва в деяких випадках можуть формуватися рівноважні кристали. Їх утворення відбувається поступово, внаслідок виникнення періодичних зон термічного або концентраційного переохолодження фронту кристалізації зі сторони рідкого розплаву. Ці явища відіграють важливу роль у процесах зварювання. При дуговому зварюванні в процесі охолодження зварного шва формується стовбчаста кристалічна структура. Мікроструктура металу шва залежить від поєднання теплових і кінетичних процесів, що супроводжують кристалізацію, а також хімічного складу розплаву й температурного градієнта в різних зонах зварного з'єднання. Як результат, може утворитися рівноважна мікроструктура, яка варіюється від зернистої до зернистодендритної або дендритної. Це відкриває можливість керувати розвитком структури шва. Даний аспект є особливо важливим для впровадження технології вібраційної обробки зварювальної ванни. Відомо, що вібраційна обробка із змінною частотою добре вивчена й висвітлена у наукових роботах. Однак питання впливу змінних режимів вібрації безпосередньо під час процесу зварювання досліджувалося недостатньо. У більшості робіт, присвячених цьому напрямку, розглядаються лише постійні режими коливань. Для дугового зварювання оптимальна частота коливань зазвичай вказується у межах 50–400 Гц, а амплітуда не перевищує 1 мм. Численні дослідження, виконані попередніми авторами, свідчать про те, що застосування вібрації під час затвердіння металу сприяє активному формуванню структури. Зокрема, на межі кристалізації виникає велика кількість уламків дендритів, що створює додаткові центри кристалізації в рідкій фазі..

Розглядаючи дане питання з цього ракурсу, технологія вібраційного впливу на ванну з рідким металом полягає у введенні в розплав додаткової енергії у вигляді пружних хвиль, яка визначається наступним співвідношенням:

$$dF_{\text{віб}} = 0,5 \omega^2 \cdot A^2 \cdot \rho \cdot dV, \quad (2.1)$$

де $\rho = dm / dV$ – щільність середовища; m – маса частинки в об'ємі dV ; ω і A – частота та амплітуда пружних хвиль відповідно. З формули (2.1) можна зробити висновок, що збільшення енергії вібраційного впливу досягається за рахунок

зростання частоти та амплітуди вібрацій, а також щільності середовища. Вільна енергія системи, що зазнає вібрації, визначається наступним виразом:

$$\Delta F = F + F_{\text{віб}} - S (T_1 - T_2) - \sigma \cdot \alpha \sigma, \quad (2.2)$$

де ΔF – вільна енергія системи; F – внутрішня енергія системи; S – ентропія системи; T_1 і T_2 – температури рідкого і твердого станів системи; σ – поверхнева енергія на межі фаз «кристал-рідина»; $\alpha \sigma$ – сумарна площа поверхонь усіх кристалів (гілок дендритів тощо). З формули (2.2) можна зробити висновок, що зі збільшенням потужності вводимих коливань відбувається зростання вільної енергії системи. Ця енергія в процесі утворення кристалічних структур під час застигання металу витрачається на обламування гілок дендритів та створення додаткових центрів у системі. Як зазначено в роботах Файрушина А.М. та інших, обробка з амплітудою коливань понад 1 мм може знизити технологічну міцність зварного з'єднання, що призводить до утворення гарячих тріщин, пор і інших дефектів. Тому, для підвищення ефективності вібраційного впливу необхідно збільшити енергію системи, обмежуючи амплітуду і частоту. У теорії хвильового поширення зазначається, що таке підвищення можливе через використання модульованих режимів. Для передачі сигналів на великі відстані необхідно забезпечити високу енергію сигналу. Це досягається шляхом «накладання» одного коливального сигналу на інший із відмінною частотою. У результаті сигнал стає модульованим. Залежно від змінюваного параметра виділяють амплітудну, частотну і фазову модуляцію. Амплітудно-модульовані коливання (АМК) формуються шляхом амплітудної модуляції, при якій амплітуда сигналу змінюється за законом модулюючого сигналу, який містить інформацію. Частота несучого сигналу при цьому залишається незмінною. АМК отримують шляхом перемноження двох сигналів: модулюючого, що містить інформацію, і несучого.

Частотно-модульовані коливання є в той же час і фазомодульованими. При частотній модуляції зміна частоти, а не фази збігається з законом зміни модульованого сигналу. При частотній модуляції індекс модуляції обернено пропорційний модулюючій частоті, тоді як при фазовій модуляції такої залежності немає.

- **Контроль за допомогою частоти:**

Основний принцип полягає у зміні частоти несучого сигналу зварювального струму, що впливає на характеристики зварювальної дуги.

- **Стала амплітуда:**

На відміну від амплітудної модуляції, де змінюється амплітуда, в ЧМ амплітуда зварювального струму залишається незмінною.

- **Інформаційний сигнал:**

Цей сигнал, який задає закон зміни частоти, може контролювати різні параметри зварювання, наприклад, керувати формою або глибиною зварювальної дуги.

- **Аналогова модуляція:**

Частотна модуляція є типом аналогової модуляції, при якій інформаційний сигнал безпосередньо керує частотою несучого сигналу.

Доведено доцільність використання регульованих видів вібраційної обробки, а саме амплітудно- та частотно-модельованих коливань, на формування щільної дрібнозернистої та однорідної структури металу зварювальної ванни, шва і зони термічного впливу.

Список використаних джерел

1. Биковський О.Г. Довідник зварника [Текст] / О.Г.Биковський, І.В. Пінковський. Київ: Техніка, 2002. 336 с.
2. Щокін В.А. Технологічні основи зварювання плавленням: навчальний посібник [Текст] / В.А. Щокін.- Ростов н / Д.: Фенікс, 2009. 345 с.
3. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/39125/2/MNTK_2022_Lebedev_V-Effects_of_using_modulated_125-127.pdf

ПОСІВНІ АГРЕГАТИ КУЛЬТИВАТОРНОГО ТИПУ

Вступ. Одержативисокоїурожаї зернових,навіть за наявності всіх сприятливих факторів (сортів насіння, добрива, засоби захисту рослин, ґрунтово-кліматичні та ін.) неможливо без застосування належної технології обробітки машин, що її забезпечують. Терміни виконання операцій передпосівного обробітку ґрунту повинні бути максимально скорочені. Часовий інтервал між передпосівним обробітком і сівбою повинен бути мінімальним, щоб насіння вкладалося у вологий ґрунт, а бур'яни у своєму розвитку не обганяли культурні рослини. Реалізація цієї умови неможлива без відповідних ресурсоефективних технічних засобів.

Останнім часом в галузі землеробства особливо гострою постає проблема переуцільнення орних ґрунтів у зв'язку з високим тиском на них сільськогосподарської техніки. Сучасні технології обробітки польових культур передбачають багаторазові проходи (3-8-кратні) землеробської техніки по полях. Тому у землеробстві та рослинництві все більше використовуються технології енергозбереження і мінімізації впливу на ґрунт ходових систем машин за рахунок поєднання при одному проході агрегату операцій сівби , внесення мінеральних добрив, передпосівного і післяпосівного обробітку ґрунту.

Сівба зернових із внесенням стартової й основної доз мінеральних добрив забезпечує рослини поживними речовинами протягом усього періоду вегетації, дає змогу більш економно використовувати добрива.

Основними виробниками такої техніки є фірми «Horsch», «Amazone Werke», «LEMKEN» (Німеччина), «John Deere», «Amata technology», «Great Plains» (США), «Gasperdo» (Італія), «Simba», «Overum» (Великобританія) , ПАТ «Червона зірка», ПП «Українська аграрна техніка», ПАТ «Галещина, Машзавод», ПП ПКФ «Велес-Агро» (Україна), «Juko» (Фінляндія) та інші. Ця техніка демонструвалась на

виставках Agritechnica (Ганновер, Німеччина), «Sima» (Париж, Франція), «Техагро» та ін.

Мета досліджень. *Визначити тенденції розвитку сучасних ґрунтообробних удобрювально-посівних агрегатів та комплексів вітчизняного і зарубіжного виробництва. Обґрунтувати їх раціональні конструкційні схеми та параметри.*

Результати досліджень. *Від якості використовуваної посівної техніки значною мірою залежить урожайність сільськогосподарських культур. В даний час на регіональних ринках та виставках сільськогосподарської техніки пропонується широкий асортимент посівних агрегатів із робочими органами у вигляді стрілчастих лап. В якості ґрунтообробної частини застосовують комбіновані машини для передпосівного обробітку ґрунту з набором пасивних робочих органів: розпушувальних S-подібних пружинних лап, пруткових або комбінованих котків. [1].*

Посівні агрегати культиваторного типу становлять інтерес у зв'язку з наступними перевагами:

- *універсальністю по культурах, що висіються (зернові, бобові та дрібнонасінні культури);*

- *суміщенням операцій, що дозволяють за один прохід виконувати декілька операцій (посів з одночасним внесенням мінеральних добрив, передпосівну культивуацію та коткування посівів). Поєднання цих операцій призводить до зменшення ущільнення ґрунту, скорочення потреби техніки в період посіву та економії ПММ;*

- *можливістю використання агрегату як для посіву, так і для культивації (при від'єднанні бункера);*

- *Застосуванням сошника у вигляді стрілчастої лапи, що дозволяє виконувати смуговий посів посівного матеріалу та одночасне знищення бур'янів.*

Як правило, агрегати з культиваторними лапами призначені для сівби по мінімально обробленому ґрунту та забезпечують можливість одночасного висіву насіння та добрив. У той же час, деякі зразки посівних агрегатів мають можливість проводити прямий посів.

Найбільш широко відомі пневматичні агрегати культиваторного типу:

John Deere 1830, що випускається фірмою «Джон Дір» (США); Concord 2812/2000, що поставляється фірмою «Фест Альпіне» (Австрія); Flexi Coil виробництва «O-CNH Canada» (Канада) та ATD 18.35 спільного виробництва компанії «Horsch» (Німеччина) та корпорації «Агро-Союз», ВО «Червона Зірка» (Україна).

Коротка технічна характеристика вищезгаданих посівних агрегатів наведено у таблиці.

У залежності від розташування відносно сільськогосподарського знаряддя автоматична висівна система має « тягнуче » (трактор – бункер – посівні секції) або «буксирувальне » (трактор – посівні секції – бункер) виконання . У сівалках Сіріус-10, Primera DMC 602, ПК- 8,5 «Кузбас » ; DKT975/55 ; Salford ; Concord2812/2000 ; FlexiCoil ; ATD 18.35 ABC – буксирувальне виконання , у сівалках Bourgault 8810(Канада), Concept 2000,GREAT PLAINS 3N-4010HDA і JohnDeere 1830, John Deere DB120,Янтар-12+Голіодор-12DS – тягнуче, а у АППМ-4, АППМ-4Д, АППМ-4А4ДО, АКПД-6Р (Білорусія), СКСС-2,5 (Барнаул, РФ), Spirit C Strip Drill(Vдderstad-Verken), AGRATOR COMBIDISK-5200– над культиватором.

Бункери представлених агрегатів поділені на дві секції: один з них для насіння, інша для добрив.

Всі представлені пневматичні агрегати обладнані самозавантажуючими шнеками діаметром від 170 до 254 мм, які дозволяють проводити завантаження

матеріалу безпосередньо з транспорту, що підвозить, забезпечують повне очищення бункера від насіння і добрив.

Самозавантажувальні шнеки являють собою транспортер, з нижній частині приймальним лотком, а у верхній – еластичним рукавом для подачі насіння та добрив у люки бункера. Для приводу шнек забезпечений гідромотором, з'єднаним із гідросистемою трактора. На бункерах сівалок Concept 2000 ; Salford ; JohnDeere 1830; FlexiCoil ; ATD 18.35 – від гідромотора, а у ПК- 8 , 5 «Кузбас » ; DKT 975/55 і Concord 2812/2000 – від автономного дизельного двигуна.

Привід вентилятора пневматичних агрегатів здійснюється від гідромотора чи автономного двигуна.

На всіх розглянутих сівалках встановлені сошники у вигляді стрільчатої лапи.

Особливістю сошників сівалки ATD18.35 є те, що вони дозволяють застосовувати систему одночасного внесення рідких або гранульованих добрив під смуги посіву на глибину 4-5 см нижче її горизонту.

За конструкційним розташування робочих органів сівалки виготовляють трирядні (JohnDeere1830; Concord2812/2000 та ПК- 8 , 5 «Кузбас ») , чотирирядні (ATD18.35; Concept2000 і ATD18.35) , п'ятирядні (DKT975/55 і Salford) , шестирядні Сіріус-10 та семирядні (FlexiCoil). Сівалки із збільшеною рядністю робочих органів забезпечують більш рівномірний розподіл висівних матеріалів.

Рами посівних агрегатів Сіріус-10; ПК- 8 , 5 «Кузбас » ; DKT975/55 ; Salford; JohnDeere1830 ; Concord 2812 / 2000 і FlexiCoil складаються із трьох секцій , а рами сівалок Concept2000 і ATD18.35 – з п'яти. В транспортне положення переводяться гідроциліндрами.

Запобіжним засобом у культиваторних лап служать пружини або зрізні болти.

Привід висівних апаратів сівалок здійснюється від заднього колеса бункера.

Представлені сівалки мають по дві великогабаритні висіваючі катушки , які встановлюються під відповідними відсіками бункера.

Характерна відмінність агрегату DKT975/55 – застосування двох шнекових висіваючих апаратів.

Слідозароблюючі пристрої Flexi Coil; ATD 18:35; Salford; John Deere 1830; ПК-8,5 «Кузбас»; DKT 975/55 і Concord 2812/2000 представлені прикочуючи ми котками, , агрегати Salford; John Deere 1830; ПК-8,5 «Кузбас»;

DKT 975/55 та Concord 2812/2000 доповнені секціями пружинних борін.

DKT 975/55 та Concord 2812/2000 доповнені секціями пружинних борін.

Посівні агрегати Concept 2000 і ППК-8,2 мають, як слідозаробляючий пристрій, пружинні боронки (при використанні як культиватор) які легко змінюються на прикочувальні катки (при використанні системи у якості посівного агрегата).

Висновки. Виконаний аналіз передбачає використання технологій інтенсивного типу (ресурсозберігаючих), у яких одноопераційні агрегати мають бути замінені багатофункціональними, універсально-комбінованими.

6. Для інтенсивних технологій обробітку зернових культур необхідно створення вітчизняних багатоопераційних агрегатів на основі досягнень та інноваційних розробок провідних вітчизняних та зарубіжних фірм, що дасть можливість скоротити кількість машин до п'яти-шести найменувань, зменшити енерговитрати та витрату ПММ.

3. Одним із вирішальних напрямів підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва та його інтенсифікації є покращення використання засобів механізації. Правильний вибір експлуатаційних параметрів, таких як маса, ширина захвату, швидкість руху, продуктивність, витрата палива та ін., є нагальною проблемою експлуатації багатофункціональних посівних агрегатів.

Список використаних джерел

1. Сучасні тенденції розвитку конструкцій сільськогосподарської техніки / В.В. Адамчук, Г.Л., Баранов, О.С. Барановський та ін.; за ред. В.І. Кравчука, М.І. Грицишина, С.М. Ковалю. – К.: Аграрна наука, 2004. -396 с.

2. Герук С.М. Тенденції розвитку конструкцій посівних агрегатів / Герук С.М., Петриченко Є.А. // Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів». №1(1). – Харків: ХНТУСГ, 2014.-С.31-46.

3. Петухов Д.А., Сердюков В.В. Современные посевные машины / Д.А.Петухов, В.В. Сердюков // Техника и оборудование для села.- 2012.- №1.С.18-21.

4. Борзенко В. Багатофункціональні посівні агрегати/ В.Борзенко //Агробізнес сьогодні. 2013. №22(269). С.58-64.

5. <https://agroexpert.ua/posivni-ahrehaty-zernovykh-kultur/>

6. <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-posivna-tekhnika/vysivni-kompleksy-dlya-nulya>

7. <https://agrobusiness.com.ua/gruntoobrobka>

Сергій ДОБРАНСЬКИЙ

викладач відділення «Агроінженерія»

Ігор БУЧКО

викладач відділення «Агроінженерія»

Житомирський агротехнічний фаховий коледж

ВПРОВАДЖЕННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЯК ФАКТОР РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ УКРАЇНИ

Досліджуючи та аналізуючи сучасний стан і перспективи впровадження роботизованих технологій в агропромисловому комплексі України, оцінюючи їхній вплив на продуктивність, економічну ефективність і екологічну безпеку сільського господарства, можливо дійти висновку, що ці технології є ключовим фактором для забезпечення сталого розвитку галузі. Їхнє впровадження сприятиме оптимізації виробничих процесів, зниженню залежності від людської праці та зменшенню екологічного навантаження. Однак для реалізації їхнього потенціалу необхідна комплексна підтримка, що включає державні субсидії, розвиток інфраструктури, зокрема доступ до швидкісного інтернету в сільській місцевості, а також підготовку кваліфікованих кадрів через освітні програми. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію робототехніки з іншими цифровими технологіями, такими як штучний інтелект, для створення цілісних рішень, які будуть доступними для господарств різного масштабу, включаючи малі та середні фермерські господарства, що сприятиме підвищенню конкурентоспроможності українського АПК на глобальному ринку.

У центрі уваги – роль робототехніки у цифровій трансформації АПК, який відіграє ключову роль в економіці країни, забезпечуючи значну частку експорту та продовольчу стабільність. На тлі глобальних викликів, таких як посилення конкуренції, зміна клімату та зростання виробничих витрат, «розумне» сільське господарство стає стратегічно важливим. Сучасні технології, зокрема агродрони, автономні сільськогосподарські машини та системи автоматизованого збору

врожаю, сприяють оптимізації процесів, зниженню витрат і підвищенню результативності.

Роботизація зменшує потребу в ручній праці, оптимізує використання ресурсів і скорочує витрати на робочу силу. Агродрони забезпечують точний аналіз полів, моніторинг стану ґрунтів і ефективне застосування добрив, обробляючи великі площі з високою точністю. Автономна техніка з GPS і штучним інтелектом працює без операторів, а системи точного землеробства, що базуються на сенсорних даних, оптимізують сівбу, полив і внесення добрив. Такі рішення дозволяють зменшити використання пального, добрив і пестицидів на 20–30%, підвищити врожайність на 10–15% та мінімізувати екологічний вплив, зокрема викиди CO₂ і хімічне забруднення. Інтеграція робототехніки з сучасними технологіями сприяє оптимізації посіву, поливу та внесення добрив завдяки даним, отриманим із сенсорів, що є основою систем точного землеробства [0, с. 165].

Впровадження роботизованих технологій в агропромисловий сектор України наштовхується на численні перешкоди. Висока вартість обладнання залишається непосильною для малих і середніх фермерських господарств. У сільських регіонах часто відсутній швидкісний інтернет, необхідний для роботи ІТ-систем. Серед основних викликів АПК – нестача кваліфікованих фахівців через міграцію, урбанізацію та наслідки війни, зростання цін на ресурси, нестабільність кліматичних умов і потреба у впровадженні екологічно чистих технологій. Також відчувається дефіцит фахівців із робототехніки та програмування, здатних обслуговувати сучасні технології. Крім того, відсутність адаптованої нормативної бази гальмує використання автономної техніки та дронів [2, с. 500].

Подальший прогрес у впровадженні роботизованих технологій в агропромисловому секторі України залежить від державної підтримки, зокрема через надання субсидій на закупівлю техніки, створення кооперативів для спільного доступу до обладнання та розробку освітніх програм для підготовки висококваліфікованих фахівців. Адаптація технологій до найкращих світових стандартів посилить конкурентоспроможність України на глобальному ринку [3, с. 135].

Використання робототехніки є ключовим для сталого розвитку агропромислового комплексу, але вимагає комплексного підходу, що включає вдосконалення інфраструктури, реформування законодавчої бази та розробку доступних рішень для малих господарств. Майбутні дослідження повинні зосередитися на інтеграції робототехніки з іншими цифровими технологіями для максимізації її потенціалу.

Список використаних джерел

1. Добранський С. С., Бучко І. О. Аналіз застосування роботизованих засобів в агропромисловому комплексі України та світі // Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. Матеріалів доп. Учасн. Міжнар. Наук.-практ. Конф. Рівне, 2025. С. 164 – 169.

URL: <http://repozitory.zhatk.zt.ua/handle/123456789/877>

2. Добранський С. С., Бучко І. О. Застосування роботизованих засобів в агропромисловому комплексі України // Технічний прогрес в АПК. Матеріали XXМіжнародної науково-практичної конференції. Харків, 2025. С. 500 – 501.

URL: <https://repo.btu.kharkiv.ua/handle/123456789/68191>

3. Добранський С. С. Застосування роботизованих засобів, як новий етап трансформації в агропромисловому комплексі України // Стратегічні напрямки розвитку науки, освіти та суспільства. Всеукраїнська науково-практична конференція педагогічних та науково-педагогічних працівників, аспірантів, молодих учених. Ніжин. 2025, С. 135 – 137.

URL: https://natc.org.ua/docs/Conferencia/2025/Conferencia_mat_23042025_1.pdf

Олена ДЖЕДЖУЛА

доктор педагогічних наук, професор,

Завідувач кафедри математики,

фізики та комп'ютерних технологій

Вінницького національного аграрного університету

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ У ЦИФРОВОМУ СУСПІЛЬСТВІ

У сучасному цифровому суспільстві сільське господарство зазнає суттєвих трансформацій. Основні зміни пов'язані з впровадженням інноваційних технологій, які підвищують ефективність, зменшують витрати ресурсів та забезпечують сталість аграрного виробництва. Сільськогосподарська техніка відіграє ключову роль у цьому процесі. Безперервний розвиток технологій створює нові можливості для проектування машин і механізмів для аграрного сектора економіки.

Однією з головних тенденцій таких змін є цифровізація та автоматизація сільського господарства. Сучасна техніка оснащується системами GPS-навігації, датчиками, модулями телеметрії та штучного інтелекту. Це дає змогу точно керувати процесами посіву, обробітку ґрунту, збирання врожаю тощо. Автоматизовані трактори, комбайни та безпілотні машини зменшують потребу в людській праці й підвищують продуктивність. Техніка все частіше підключається до інтернету. Датчики на полях і в техніці збирають дані про вологість ґрунту, рівень опадів, температуру, стан рослин тощо. Ці дані передаються в хмарні системи для аналізу та ухвалення рішень. Так, у 2022 році компанія John Deere (США) вперше представила трактори зі штучним інтелектом та машинним зором, зокрема – автономний трактор, який використовує нейромережі та комп'ютерний зір для розпізнавання перешкод, рослин, людей. Штучний інтелект обробляє зображення з камер у режимі реального часу, щоби ухвалювати рішення про обробку поля без участі оператора. Трактори також інтегровані з хмарною платформою John Deere Operations Center, яка аналізує великі обсяги агроданих.

Іншим прикладом є розробки компанії **Bayer Crop Science (Німеччина / США)**, а саме – **цифрова платформа Climate Field View**. Bayer інвестує в **прогнозування врожайності** на основі штучного інтелекту. Платформа **Field View** використовує **аналітику даних і машинне навчання** для побудови моделей росту культур, враховуючи кліматичні умови, тип ґрунту, попередній урожай. Рішення дозволяє фермерам оптимізувати посів, добрива, зрошення тощо. Платформа також інтегрується з технікою (наприклад, комбайнами), збираючи дані в реальному часі.

Штучний інтелект використовується для аналізу аграрних даних і прогнозування врожайності, виявлення хвороб рослин, шкідників, оцінки ефективності агротехнічних заходів. Це дозволяє аграріям приймати більш обґрунтовані рішення.

Техніка нового покоління дозволяє здійснювати **прецизійне (точне) землеробство**. Це підхід, що передбачає обробку ґрунтів та рослин з урахуванням їхнього конкретного стану. Завдяки цьому можливо раціонально використовувати насіння, добрива, воду та пестициди, що знижує витрати та шкоду для довкілля. Як приклад можна розглянути розробки компанії **AGCO (США) – трактори Fendt та системи точного землеробства**. AGCO (власник брендів Fendt, Massey Ferguson) використовує **FendtONE – цифрову платформу**, яка аналізує дані з техніки в полі й синхронізує їх з офісними системами. Машини підтримують **прецизійне розпізнавання бур'янів**, завдяки чому штучний інтелект дозволяє **вибірково обприскувати тільки бур'яни**, економлячи до 90% пестицидів. Роботи-опилювачі й сіялки з елементами ІІІ також проходять тестування.

Сучасна техніка орієнтується на **зниження впливу на довкілля**: електротрактори, гібридні машини, використання біопалива. Технології точного землеробства сприяють зменшенню надмірного використання добрив і хімікатів.

Розвиток аграрної робототехніки є одною з найперспективніших тенденцій у розвитку сільськогосподарської техніки. Все більше уваги приділяється **агроботам – роботизованим системам** для висаджування, прополювання, збирання врожаю. Вони працюють автономно або під контролем людини, замінюючи ручну працю в умовах нестачі робочої сили.

Сучасне фермерське господарство неможливо уявити без хмарних сервісів та мобільних застосунків. Фермери можуть керувати технікою, стежити за врожаєм і проводити аналітику прямо зі смартфонів або планшетів. Це спрощує доступ до технологій навіть у віддалених регіонах.

Отже, сільськогосподарська техніка стрімко розвивається під впливом цифрових технологій. Ці зміни відкривають нові можливості для підвищення продуктивності, ефективного управління ресурсами та екологічної відповідальності. Інновації сприяють формуванню сучасного аграрного сектору, який відповідає викликам ХХІ століття. Вище наведене дозволяє сформулювати рекомендації для України у контексті перспективних тенденцій розвитку сільськогосподарської техніки: запроваджувати пілотні проєкти “розумного поля”, щоб адаптувати технології до місцевих умов (грунт, клімат, інфраструктура); розвивати інфраструктуру зв'язку та енергопостачання у сільській місцевості – без цього важко буде реалізувати цифрові рішення; стимулювати модернізацію техніки через субсидії, пільгові кредити, гранти – особливо для середніх і малих господарств; підготовка кадрів: агроінженери, ІТ-спеціалісти, технічні фахівці. Співпраця університетів, аграрних коледжів і бізнесу; партнерство з технологічними компаніями (стартапи, ІТ-компанії) для адаптації рішень; увага до проміжних, “гібридних” рішень – наприклад, механічна база + додаткові модулі, щоб техніка не була “надто складною”; моніторинг світових трендів і участь у глобальних ланцюгах – імпорт не лише машин, а й технологій, ПЗ, компонентів.

Список використаних джерел

1. Яропуд В. М., Дацюк Д. А. Шляхи удосконалення висівного апарата селекційної сівалки дрібнонасінневих культур. *Вібрації в техніці та технологіях*, 2022. 1 (100). С 156–166. DOI: 10.37128/2306-8744-2021- 1-15
2. . Yaropud V., Honcharuk I., Datsiuk D., Aliiev E. The model for random packaging of smallseeded crops' seeds in the reservoir of selection seeders sowing unit. *Agraarteadus*, 2023. №3 (1). С. 199–208. DOI: 10.15159/jas.22.08
3. Алієв Е. Б. Автоматичне фенотипування насіннєвого матеріалу соняшнику: монографія. Київ: Аграрна наука, 2022. 104 с.

Олександр КОМІСАРЧУК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Дмитро ДЕРЕВ'ЯНКО

д.т.н., професор

Поліський національний університет, м. Житомир

ПРИНЦИПОВА СХЕМА АГРЕГАТУ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ ГРЕБЕНЕПОДІБНОГО ҐРУНТОВОГО ФОНУ З ПОШАРОВИМ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИМ РОЗПОДІЛОМ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Аналіз конструктивних і функціональних особливостей існуючих пристроїв та усунення в ході даного дослідження їх недоліків дозволили запропонувати схему агрегату для формування гребенеподібного ґрунтового фону з пошаровим диференційованим розподілом мінеральних добрив під розвиток картоплі в посушливих регіонах (рис. 1).

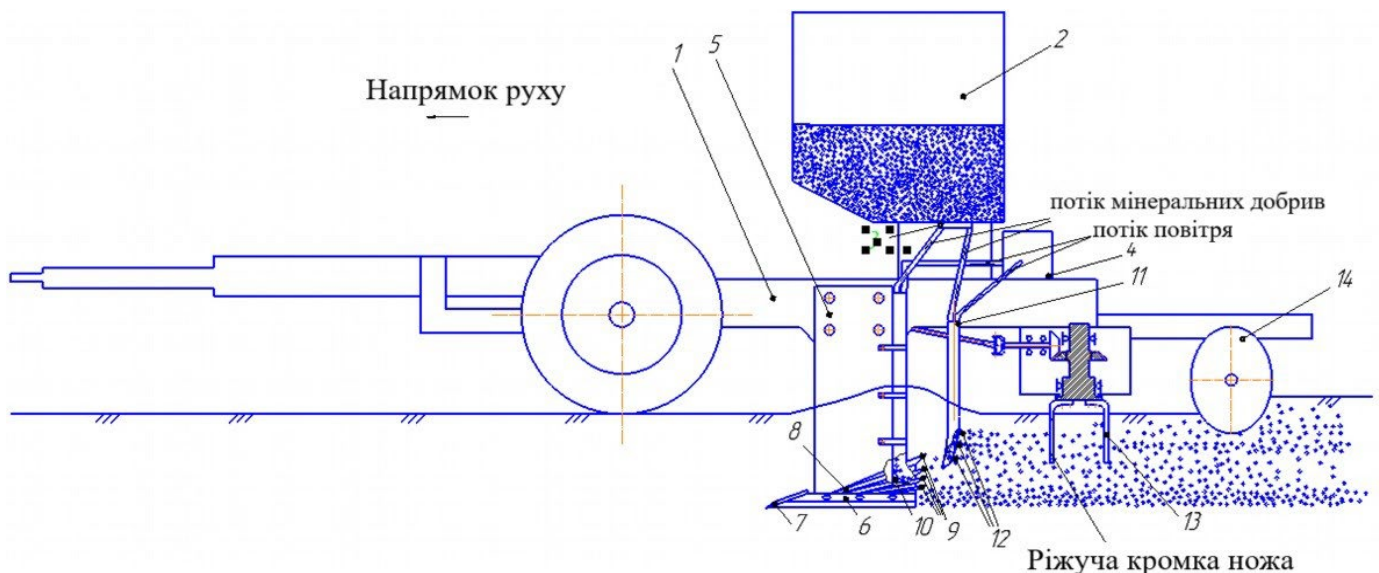


Рис. 1. Схема агрегату для формування гребенеподібного ґрунтового фону з диференційованим по шарах розподілом мінеральних добрив: 1 – рама; 2 – бункер для мінеральних добрив; 3 – дозуючий пристрій; 4 – вентилятор; 5 – клиноподібна стійка; 6 – лемеші; 7 – долото; 8 – відвальні поверхні; 9 – трикутні рихлильні

виступи; 10 – тукорозкидач; 11 – ножі-добрива; 12 – туконаправні пластини; 13 – ґрунтообробні вертикальні фрези; 14 – дискові окучники.

Агрегат складається з рами 1 з опорно-привідними колесами, бункера 2 для мінеральних добрив із дозувальним пристроєм 3, що приводиться в дію від опорно-привідних коліс агрегату, вентилятора 4, клиноподібної стійки 5. На ній розміщено сошник із лемешами 6, долотом 7 та відвальними поверхнями 8, які утворюють трикутний звід, що збільшується у напрямку руху апарата. Зверху зводу встановлені трикутні розпушувальні виступи 9, які мають продовження у вигляді зубців за відвальними поверхнями 8. Усередині зводу під тукопроводом змонтований тукорозсіювач 10, з'єднаний із дозувальним пристроєм 3 та вентилятором 4 за допомогою сполучних магістралей.

У зоні сходу ґрунтового пласта з відвальних поверхонь 8 сошника та трикутних розпушувальних виступів 9 закріплені два ножі-удобрювачі 11. У нижній, занурюваній у ґрунт у напрямку руху, задній частині боковий зріз має овальний отвір, у який на різних рівнях – від мінімальної глибини вгорі до максимальної вниз – встановлені всередину ножа туконаправляючі пластини 12. При цьому ножі-удобрювачі 11 з'єднані з бункером 2 мінеральних добрив і дозувальним пристроєм 3 сполучними магістралями.

За ножами-удобрювачами 11 на рамі 1 розміщені дві ґрунтообробні вертикальні фрези 13, які приводяться в дію від вала відбору потужності трактора (не показаний на схемі). Ріжуча кромка розташована на краю полотна ножа фрези 13.

Розташування ґрунтообробних фрез і ножів-удобрювачів 11, а також схема розподілу добрив подані на рис. 2.

Агрегат працює наступним чином. У бункер 2 засипають мінеральні добрива. Туконаправляючі пластини 12 встановлюють на мінімальну зверху та максимальну знизу глибину всередину ножа-удобрювача 11. Потім агрегат приводиться в рух від трактора. Під час руху леміш 6 і долото 7 підрізають у горизонтальній площині нижній пласт ґрунту, який далі потрапляє на нахилені до напрямку руху відвальні поверхні 8 башмака з трикутними розпушувальними виступами 9. Проходячи по

виступах, структура нижнього оброблюваного шару ґрунту стає пухкою та дрібногрудкуватою. У результаті виступи 9 мають продовження за поверхнею 8 у вигляді зубців, структурований ґрунт частково осипається вниз у проміжки між ними й частково після сходу з них. Завдяки цьому забезпечується ефективне перемішування ґрунту та мінеральних добрив. Останні сходять з поверхні тукорозсіювача 10, який спрямовує їх на ґрунт, що сходить з башмака 8. При цьому більша частина добрив надходить із бункера 2 через дозувальний пристрій 3 по з'єднувальних магістралях і спрямовується на нижній рівень оброблюваного шару з поступовим зменшенням їхнього вмісту вище нижнього рівня.

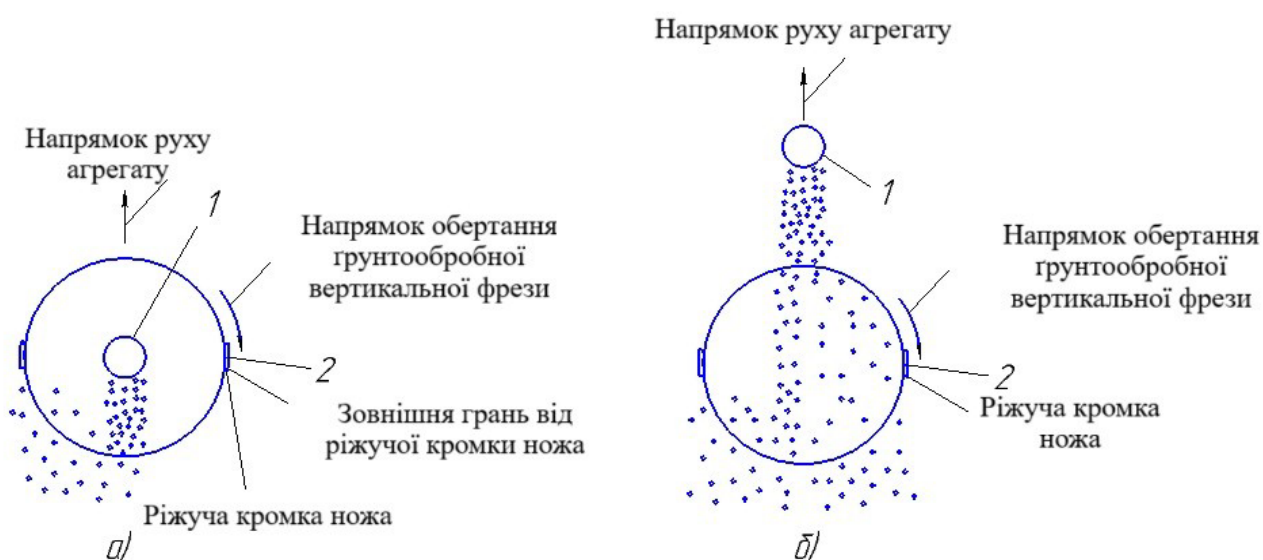


Рис. 2. Схема розподілу добрив у горизонтальному напрямку за різного положення ножа-удобрювача відносно вертикальної ґрунтообробної фрези (вид зверху):

а – розподіл туків при одnorазовому впливі фрези; б – розподіл туків при дворазовому впливі фрези; 1 – ніж-удобрювач; 2 – ніж вертикальної ґрунтообробної фрези.

Ножі-удобрювачі 11 вносять мінеральні добрива, що надходять із бункера 2 через дозувальний пристрій 3 та з'єднувальні магістралі під дією повітряного потоку від вентилятора 4, у верхній оброблюваний шар ґрунту на різних його рівнях за допомогою туконаправляючих пластин 12.

Вертикальні фрези 13 перемішують внесені ножами-удобрювачами 11 добрива з ґрунтом і, обертаючись назустріч одна одній, переміщують більшу їх частину в

горизонтальній площині до центру гребеня, сформованого окучниками 14. У результаті гребінь має оптимальне для вирощування картоплі розміщення мінеральних добрив із якісним їх перемішуванням і розподілом по обробленому агрегатом об'єму ґрунтового шару.

Три робочі органи експериментального агрегата, два з яких установлені на ньому у верхньому, а один – у нижньому ярусі, дають змогу реалізувати розроблений спосіб підготовки ґрунту та пошарове внесення в оброблюваний пласт мінеральних добрив. Аналітичний розгляд конструктивно-технологічної схеми агрегата виявив шляхи вдосконалення виконання технологічного процесу підготовки ґрунту для вирощування картоплі. Під час її проектування враховано недоліки, притаманні пристроям для багат шарового внесення добрив. Фрезерування здійснюється вертикальними ґрунтообробними фрезами, які частково забезпечують збереження нижніх вологих шарів на попередній глибині їх залягання, що знижує швидкість випаровування вологи з ґрунту.

Список використаних джерел

1. Liu C., Yan H., Wang W., Han R., Li Z., Lin X. Wang D. Layered application of phosphate fertilizer increased winter wheat yield by promoting root proliferation and phosphorus accumulation. Soil and Tillage Research. Volume 225, January 2023, 105546. <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105546>.
2. He Z., Dang X., Lin X., Gao G., Liu Y., Ma F. Combining base to topdressing ratio and layered application of phosphorus fertilizer enhanced cotton yield by regulating root distribution and activity. Soil and Tillage Research. Volume 241, September 2024, 106111. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106111>.

ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ТА РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ І ЇХНЄ ЗНАЧЕННЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ ЗМІШУВАННЯ У ТВАРИННИЦТВІ

Раціональна годівля в сучасному тваринництві базується на використанні повнораціональних змішаних кормів (TMR), які мають характеризуватися високим рівнем однорідності та відповідати зоотехнічним вимогам до структури і поживності. Ефективність таких сумішей визначається не лише хімічним складом, а й фізико-механічними характеристиками компонентів, що впливають на процеси змішування, транспортування та споживання кормів. Різномірність кормових матеріалів ускладнює процес змішування та зумовлює явища сегрегації, селекції корму тваринами, злежування та підвищення енерговитрат. Незважаючи на значну кількість наукових робіт у сфері годівлі та механізації, бракує узагальненого аналізу механіко-технологічних характеристик різних груп кормових матеріалів, що обмежує можливості для створення інженерних рішень, здатних забезпечити ефективне змішування багатокомпонентних сумішей. Тому актуальним завданням є систематизація та узагальнення даних про фізико-механічні властивості кормових матеріалів як наукової основи для подальшого проектування змішувачів-кормороздавачів.

Метою дослідження є створення передумов для подальшого удосконалення процесів змішування кормів через систематизацію їх механіко-технологічних властивостей та дослідження особливостей їхньої поведінки в змішувальних системах.

Результати дослідження. У фізіології жуйних тварин взаємозв'язок між структурою корму, інтенсивністю жуйки, рівнем рН у рубці та продуктивністю молочних корів описується концепцією *physically effective fiber* (peNDF) [1]. Для кількісної характеристики розподілу частинок у волокнистих кормах і

повнораціонних сумішах застосовують метод Penn State Particle Separator (PSPS) [2]. Текучість і схильність до злежування сипких компонентів (зернові, шрот, премікси, DDGS) оцінюють зсувними випробуваннями, найчастіше за методом Дженайка або кільцевим зсувним апаратом Шульце [3]. Для рідких інгредієнтів (патока, жири, олії, рідкі премікси) ключовими є дослідження густини й в'язкості, що визначають їх дозування та сумісність із сипкими складовими [4].

Систематизація наведених у табл. 1 параметрів дозволяє виявити суттєві відмінності між групами інгредієнтів TMR, а аналіз даних табл. 2 показує варіативність густини та в'язкості рідких компонентів залежно від температури, що визначає їхню практичну придатність у технологіях приготування сумішей.

Таблиця 1 – Механіко-технологічні характеристики поширених сухих компонентів повнораціонних кормів

Група/матеріал (стан)	Насипна густина, кг/м ³	Кут природного нахилу, °	Джерело
Силос кукурудзяний (подрібнений, траншея)	в готовому вигляді ≥ 705 ; сухої речовини $\sim 210-290$	$\approx 40-50$ (зростає зі збільшенням вологовмісту та розмірів)	[5]
Сінаж люцерни (подрібнений)	типово ~ 590 (210-980 залежно від технології заготівлі та умов зберігання)	$\approx 40-55$ (зростає зі збільшенням вологовмісту та розмірів)	[5]
Зернова складова (кукурудза подрібнена)	$\sim 600-750$	$\sim 23-33$ (зростає зі збільшенням вологовмісту)	[6]
Соєвий шрот	$\sim 545-675$	$\sim 30-33$ (зростає зі збільшенням вологовмісту)	[7]
Зневоложена спиртова барда DDGS	$\sim 480-570$	$\sim 45-50$ (зростає зі збільшенням вологовмісту)	[8]
Мінеральні премікси/мікродоб авки	$\sim 400-600$ (залежно від рецептури TMR)	$\sim 25-35$	[9]

Аналіз даних, наведених у табл. 1 і табл. 2, свідчить про суттєві відмінності у механіко-технологічних параметрах сипких і волокнистих кормових матеріалів та у фізико-реологічних характеристиках рідких інгредієнтів. Сухі та об'ємні корми вирізняються широким діапазоном насипної густини (210–980 кг/м³) та значними кутами природного нахилу (до 55°), що ускладнює забезпечення їхньої текучості й рівномірності змішування через прояви сегрегації, селекції та злежування.

Таблиця 2 – Фізико-реологічні характеристики рідких кормових компонентів

Компонент	Густина (20 °C), г/см ³	В'язкість (20-40 °C), мПа·с	Джерело
Патока (80 с.р.)	~1,41	~13 500 (20 °C); ~3 000 (40 °C)	[10]
Тваринні жири	~0,92	~150–200 (20 °C); ~40–60 (40 °C)	[4]
Рослинні олії (соєва, ріпакова)	~0,91–0,93	~80–100 (20 °C); ~35–60 (40 °C)	[4]
Емульсії та суспензії (рідкі премікси, вітамінно-мінеральні комплекси, суспензії CaCO ₃)	~1,05–1,25	~1 000–2 000 (20 °C); ~500–1 000 (40 °C)	[11]; [9]

Рідкі добавки характеризуються високою варіабельністю густини (0,91–1,41 г/см³) і в'язкості (40 мПа·с до понад 10 000 мПа·с), що визначає умови їхнього дозування та рівномірність інтеграції у повнораціонні суміші. Узагальнений аналіз цих даних підтверджує необхідність диференційованого інженерного підходу до проєктування змішувачів-кормороздавачів, із урахуванням комплексного впливу фізико-механічних та реологічних властивостей кормових матеріалів.

Висновки. За результатами досліджень визначено, що різномірність механіко-технологічних параметрів сипких та волокнистих кормових матеріалів у поєднанні з реологічними характеристиками рідких інгредієнтів є визначальним чинником ефективності процесів змішування у тваринництві. Встановлено, що значні кути природного нахилу та обмежена сипучість об'ємних кормів сприяють сегрегації та злежуванню, тоді як підвищена в'язкість рідких добавок обумовлює необхідність

застосування спеціалізованих інженерних рішень для забезпечення їхнього рівномірного розподілу по всьому об'ємі суміші. Комплексне врахування цих властивостей формує науково обґрунтовану базу для підвищення однорідності TMR, зниження питомих енерговитрат та забезпечення високих результатів у сучасному тваринництві.

Список використаних джерел

1. Mertens D. R. Creating a system for meeting the fiber requirements of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1997. Vol. 80. No. 7. P. 1463–1481.
2. Kononoff P. J., Heinrichs A. J., Lehman H. A. The Penn State Particle Separator: Procedures for determining particle size of forage and total mixed rations. *Journal of Dairy Science*. 2003. Vol. 86. No. 10. P. 3383–3393.
3. Schulze D. *Powders and bulk solids: Behavior, characterization, storage and flow*. Berlin: Springer, 2008. 505 p.
4. Fasina O. O., Colley Z. Viscosity and specific heat of vegetable oils as a function of temperature. *Journal of Food Engineering*. 2008. Vol. 79. No. 2. P. 710–716.
5. University of California, Davis. *Alfalfa Silage and Haylage data* [Електроннийресурс]. 2023. Режимдоступу: <https://alfalfa.ucdavis.edu>
6. Agridry Dryers. *Grain and corn drying technical information* [Електроннийресурс]. 2023. Режимдоступу: <https://www.agridrydryers.com>
7. Purdue University. *Soybean meal bulk density data* [Електроннийресурс]. 2023. Режимдоступу: <https://engineering.purdue.edu>
8. Iowa State University. *DDGS characteristics* [Електроннийресурс]. 2023. Режимдоступу: <https://dr.lib.iastate.edu>
9. Feedipedia, INRA. *Animal feed resources information system* [Електроннийресурс]. 2023. Режимдоступу: <https://www.feedipedia.org>
10. Belgosuc NV. *Technical Data Sheet: Cane Molasses* [Електроннийресурс]. 2021. Режимдоступу: <https://www.belgosuc.com>
11. AOAC International. *Official Methods of Analysis of AOAC International*. 21st ed. Rockville, MD: AOAC International, 2019. 3000 p.

Андрій КУШЛАК

здобувач вищої освіти 1 курсу ОС «Магістр»
спеціальності J8 Автомобільний транспорт

Науковий керівник:

Леся ШЕЛУДЧЕНКО

доктор технічних наук, професор

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

PiotrPENKALA

доктор з інженерії, доцент

директор Інституту технічних наук та авіації

Державної академії прикладних наук у Хелмі

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

У сучасному світі, який характеризується стрімким зростанням складності технологічних процесів та систем, моделювання перетворилося з допоміжного інструменту на ключову методологію наукового пізнання та інженерної практики. Дослідження технологічних процесів методом моделювання стає незамінним процесом, який дозволяє проводити глибокий аналіз, робити обґрунтовані прогнози та оптимізувати складні системи, не втручаючись у роботу реального об'єкта на етапі досліджень [1].

Моделювання – це інструмент для досягнення конкретних практичних та наукових результатів, основні цілі та завдання якого, можна систематизувати наступним чином:

- отримання нових знань, де моделювання допомагає зрозуміти внутрішні механізми та закони функціонування складних систем;
- прогнозування та оптимізація, де за допомогою моделей можна дослідити майбутню поведінку системи та знайти оптимальні параметри її функціонування;

– зменшення ризиків, що скорочує час розробки, економить ресурси та дозволяє уникнути виникнення непередбачуваних подій на етапі тестування;

– виявлення закономірностей, що дає можливість виявити приховані взаємозв'язки між параметрами системи та зрозуміти її логіку.

Створення якісної моделі вимагає дотримання низки фундаментальних принципів, які наведені в таблиці.

Таблиця 1 – Основні принципи в моделюванні

Принцип	Характеристика
Адекватність	Модель повинна відображати ключові властивості об'єкта, які є суттєвими для мети дослідження.
Спрощення	У моделі свідомо відкидаються несуттєві деталі та фактори, щоб не ускладнювати дослідження. Це ключовий компроміс, завдяки якому модель має бути достатньо простою для аналізу, але при цьому залишатися адекватною.
Системність	Об'єкт розглядається як система, що складається із взаємопов'язаних елементів. Модель повинна відтворювати не лише самі елементи, а й зв'язки між ними.
Цілеспрямованість	Модель завжди створюється для вирішення конкретної задачі. Від мети залежить, які властивості об'єкта будуть вважатися суттєвими, а які ні.
Верифікація та валідація	<i>Верифікація</i> передбачає перевірку правильності моделі, де перевіряється логіка та відсутність помилок. <i>Валідація</i> здійснює перевірку відповідності результатів моделі реальним даним. Прогнози моделі порівнюються з результатами натурних експериментів.
Універсальність і відтворюваність	Модель повинна працювати не лише в одній унікальній ситуації, а й у інших схожих умовах, а її результати мають бути відтворюваними.

Процес створення та використання моделі є ітеративним і складається з чітких етапів [2] (рис.).



Рис 1. Етапи моделювання

Таким чином, моделювання є потужним та універсальним методом дослідження технологічних процесів, яке активно використовується практично у всіх сферах сучасної науки. Воно дозволяє безпечно та ефективно проводити дослідження, віртуальні експерименти, оптимізувати технологічні процеси та в подальшому приймати науково обґрунтовані управлінські рішення.

Список використаних джерел

1. Л.С. Шелудченко, Б.А. Шелудченко, О.М. Бахмат, О.С. Чинчик, О.В. Овчарук Моделювання і прогнозування динаміки природно-техногенних геоекосистем. Навчальний посібник / за ред. Б.А. Шелудченко – Кам'янець-Подільський :В-во ТОВ «Каліграф», 2017. 216 с.

2. Шелудченко, Л. С., Комарніцький, С. П., Фірман, Ю. П., Мельник, В. А. Застосування комплексного підходу при вирішенні складних завдань в галузі транспортних технологій в умовах сталого розвитку суспільства. Modernisation of Higher Education in Ukraine in the Context of Globalisation. Monograph / edited by A. M. IVANOVSKA. Kamianets-Podilskyi. Higher Educational Institution "Podillia State University". Riga, Latvia: "Baltija Publishing", 2025. 344 p. PP 252-260.

Олександр ЛИСЮК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Максим СЕНЧИЛО

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Віктор СМИК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Віктор БІЛЕЦЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

ОСНОВНІ ВИДИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ НА ГРУНТООБРОБНИХ ЗНАРЯДДЯХ ТА ЇХ КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ

Обробіток ґрунту – це найбільш енергоємна операція сільськогосподарського виробництва, на яку витрачається від 30 до 40% усієї енергії, споживаної в аграрній сфері. Пошук шляхів зниження енергозатрат на виконання цієї операції справляє суттєвий вплив на розвиток конструкцій ґрунтообробної техніки та її робочих органів. Типовими представниками робочих органів, що застосовуються на ґрунтообробних і посівних агрегатах, є: леміші, долота, крила та груди відвалу, польові дошки, обертові лапи, стрілчасті лапи, зуби й диски борін, диски та клини сошників[1]. Вони визначають технічний рівень зазначених агрегатів у цілому.

Серед різновидів плужних лемішів найбільшого поширення набули долотоподібні, у яких носова частина виконана у формі долота. Це сприяє покращенню таких показників, як здатність до заглиблення, тяговий опір та агротехнічна якість оранки. Виготовляються вони як суцільнометалеві, які

виробляються переважно українськими компаніями (рис. 1, а), так і складові, що включають остов (рис. 1, б, в, г) та долото (рис. 2), з'єднані між собою болтовими з'єднаннями. До числа провідних зарубіжних виробників лемішів плугів належать такі компанії: Lemken і Rabewerk (Німеччина), Gregoire Besson і Kuhn (Франція), Kverneland (Норвегія), Vogel & Noot (Австрія), Unia (Польща), John Deere (США) та інші. Зарубіжні компанії випускають широкий спектр лемешів, за їх конструктивним виконанням орієнтуючись на потреби споживачів, склад ґрунтів та агротехнічні вимоги.



а)



б)



в)



г)

Рис. 1. Леміш плуга ПЛН-5-35 (а) та остови лемішів плугів компаній Lemken (б), Kverneland (в) і Kuhn (г).

Долота можуть бути односторонніми (рис. 2, а, б) і двосторонніми (оборотними) (рис. 2, в, г). Товщина доліт (особливо в зоні польового обрізу) в окремих випадках може перевищувати товщину остова самого леміша. Ця особливість найвиразніше спостерігається у доліт компанії Lemken (рис. 2, б), тоді як долота інших виробників мають приблизно однакову товщину по всій довжині.

Долота можуть бути накладними, які використовує більшість зарубіжних компаній і приставними, що застосовуються лише компанією Lemken. Важливою

перевагою приставних доліт є менша забиваність лемішів бур'янами, що особливо актуально під час оранки полів, на яких вирощувалися соняшник і кукурудза.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2. Одностороннє долото плуга компанії Lemken (а, б) та двосторонні (оборотні) долота плугів компаній Kverneland (в) і Kuhn (г).

Перевагою лемішів із виступаючим (накладним) долотом є більша здатність до заглиблення, краще якість обробітку пласта та дещо менше зношування (внаслідок меншого навантаження на основу) остова леміша – леза. Основні конструктивні параметри лемішів провідних зарубіжних виробників наведено в табл. 1.

Таблиця 1 – Основні конструктивні параметри лемішів провідних зарубіжних виробників

Компанія-виробник	Товщина остови леміша, мм	Товщина ріжучої кромки леміша, мм	Товщина долота, мм	Кут борозного обрізу, °
Lemken	10	3,0-3,5	14-19	136
Kverneland	10	3,5-4,5	12	134
Unia	12	3,5-4,5	12-16	134
Kuhn	10	3,0-4,5	12-16	134
Vogel & Noot	12	3,5-4,5	14	134

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1.1, видно, що за багатьма конструктивними параметрами леміші провідних зарубіжних виробників незначно відрізняються між собою. Найбільші відмінності спостерігаються у товщині доліт – від 12 мм у доліт компанії Kverneland до 19 мм у доліт компанії Lemken. Кут борозенного обрізу в усіх лемушів, за винятком виробів компанії Lemken, становить 134°. Товщина ріжучої кромки лемішів усіх виробників також відрізняється незначно й змінюється в межах 3,0...4,5 мм.

Сучасна система землеробства широко використовує обробіток ґрунту за допомогою дискових борін та дискаторів. У свою чергу, це призводить до підвищення ступеня ущільнення ґрунту і як наслідок, виникає потреба в його глибокому розпушуванні. Робочими органами глибокорозпушувачів є стояки й долота, а також стрілчасті лапи. Стояки та долота можуть мати різну конфігурацію. Стояки глибокорозпушувачів бувають прямими або вигнутими (так звана стійка типу «Параплау»). Прямі стояки оснащуються долотами стрілоподібною або прямою форми. Як показала практика, стрілоподібні долота забезпечують краще підрізання стебел бур'янів і збільшують зону розпушування, однак вони є значно складнішими за конструкцією та мають підвищену металоємність.

Прямі долота, як правило, виконують у вигляді вигнутої пластини з ріжучо-лезовими поверхнями з обох боків, тобто вони є оборотними робочими органами. Пряме долото є менш металоємним, а тому дешевшим порівняно з іншими видами доліт. Долота, що застосовуються на стійках типу «Параплау», мають форму двостороннього клина і також є оборотними. Аналіз робочих органів глибокорозпушувачів показує, що дедалі ширше застосування отримують саме прямі долота. Такі робочі органи мають глибокорозпушувачі Gaspardo Artiglio, Gaspardo Attila, Gaspardo Pinocchio, КАМА ТГР, Lemken Labrador та інші.

Лапи широко використовуються в якості робочих органів культиваторів, сівалок, посівних комплексів та інших ґрунтообробних знарядь. Залежно від характеру виконуваної роботи лапи поділяють на розпушувальні та прополювальні. До розпушувальних лап належать списоподібні, оборотні та долотоподібні лапи, а до прополювальних – односторонні та стрілчасті. Стрілчасті лапи використовуються

найширше; вони бувають плоскорізальні та універсальні. Останні, одночасно з підрізанням бур'янів, здійснюють розпушування ґрунту.

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур передбачають комплексний обробіток ґрунту, який поєднує культивуацію, глибоке розпушування та прикочування. У деяких випадках, за незначних конструктивних змін, комплекс операцій може бути доповнений обладнанням для внесення добрив. Так, компанія Vaderstad випускає лінійку комбінованих культиваторів TopDown, робочими органами яких є долота різної ширини захвату, культиваторні лапи, зубчасті конічні та вирівнювальні диски. Компанія KOCKERLING виготовляє багатоцільовий культиватор Vector, який використовується для дрібного післяжнивного обробітку, основного обробітку та глибокого розпушування. Робочими органами цього культиватора є стрілчасті лапи, долота, а також глибокорозпушувальні лапи.

Список використаних джерел

1. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. Техн. Наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.

Олександр МЕЛЬНИК

здобувач вищої освіти 2стн ОС» Бакалавр»

Спеціальності 208 « Агроінженерія»

Науковий керівник:

Руслана СЕМЕНИШЕНА

канд. пед.наук, доцент

Заклад вищої освіти « Подільський державний університет»

НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ І ПРАКТИКА У СТАНДАРТИЗАЦІЇ ТА СЕРТИФІКАЦІЇ ТЕХНІКИ І ОБЛАДНАННЯ

Розвиток стандартизації як інженерної діяльності розпочав Елі Вітні, який у 1793 році винайшов бавовноочисну машину для відділення бавовняних волокон від їх насіння. У сучасному світі стандартизація та сертифікація техніки і обладнання є невід’ємними елементами забезпечення якості та безпеки продукції. Але головний поштовх до розвитку стандартів прийшов на рубежі 20-го століття, коли було засновано велику кількість національних організацій стандартизації .

З часом у світі виникла необхідність хоча б часткового зняття бар’єрів у міжнародній торгівлі та більш вільного розповсюдження продукції. Почали створюватися міжнародні організації, які зайнялися розробкою та впровадженням нормативних документів на регіональному на загальносвітовому рівні. Прикладом такої структури може виступати Міжнародна Організація зі Стандартизації ISO (англ. International Organization for Standardization), яка була створена у 1947 році за участі 25 національних органів. Зараз до складу ISO входить більше 160 країн світу. За час свого існування організація розробила більше 25 тисяч міжнародних стандартів [3].

Особлива увага приділяється інтеграції наукових досліджень у практичну діяльність, що дозволяє адаптувати стандарти до нових викликів і забезпечувати відповідність сучасним вимогам ринку. Дослідження є фундаментом для розробки нових стандартів, оскільки вони дозволяють виявити новітні технології та методи,

що у свою чергу дає змогу створювати актуальні та ефективні нормативні документи, що відповідають сучасним вимогам. Це забезпечує прогресивний розвиток продукції та послуг, а також сприяє впорядкуванню об'єктів стандартизації.

У межах вивчення дисципліни «Стандартизація і сертифікація техніки і обладнання» розглядаються основи наукових підходів до розробки стандартів, аналізуються існуючі практики сертифікації, а також обговорюються перспективи розвитку в умовах швидких технологічних змін. Студенти отримають знання про основні принципи, методи та інструменти стандартизації, а також зможуть оцінити їх вплив на якість та конкурентоспроможність продукції [1, с. 5].

Як дослідження впливають на стандартизацію:

1. Наукові дослідження виявляють нові технології, інструменти та підходи у різних галузях.
2. Виявлені інновації лягають в основу розробки нових, прогресивних стандартів, які відповідають найсучаснішим вимогам. Я
3. Стандарти, засновані на передових дослідженнях, забезпечують більш ефективне виробництво, використання та контроль продукції та послуг.
4. Стандартизація, що базується на результатах досліджень, допомагає оптимізувати та впорядкувати певні об'єкти стандартизації.
5. Дослідження допомагають встановити вимоги до якості, безпеки та інших аспектів продукції, гарантуючи їх відповідність сучасним стандартам.

Таким чином, дослідження та стандартизація є взаємодоповнюючими процесами, які рухають прогрес у різних сферах діяльності.

Боротьба за якість набуває нині світового масштабу. Стандартизація та сертифікація товарів і послуг є одним з головних чинників одержання сертифіката якості, що забезпечує пріоритетні позиції в умовах ринкової конкуренції. Розвиток виробництва, торгівлі, суспільства в цілому неможливий без запровадження технічних законодавчих та нормативних документів, які забезпечують підвищення технічного рівня та якості продукції на всіх стадіях її існування [1, с.5].

Сучасний глобалізований світ не може існувати без стандартів, які підтримують співпрацю, торгівлю, охорону здоров'я, безпеку та економічне зростання тощо. Насправді стандарти існують майже у всіх аспектах сучасного життя.

Стандарти можуть застаріти з багатьох причин, переважно через технологічний прогрес. Часто нові технології та дослідження призводять до розробки нових стандартів на заміну старим. Однак є стандарти, які застаріли, але все ще широко використовуються в суспільстві та організаціях.

Очікується, що стандарти відповідатимуть очікуванням як учасників ринку, так і органів державної влади в контексті світу та суспільства, що швидко змінюється.

Список використаних джерел

1. Болотніков А. О. Стандартизація та сертифікація товарів і послуг: навч. Посіб. Для студ. Вищ. Навч. Закл. Київ : МАУП, 2005. 144 с.
2. TMS Academy. URL: <https://academy.tms.ua/blog/strong-navishho-potribni-standarti-dlja-organizacij-strong-strong-strong/>
3. Горбатенко В. Стандартизація в металургійній галузі. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/articles/standartizaciia-v-metalurgiinii-galuzi>

Олександр МОРОЗОВ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Сергій МІНЕНКО

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

КОМПОНУВАННЯ ЖАТКИ З ЛІНІЙНИМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ЗА МІСЦЕМ РОЗТАШУВАННЯ ДВОСТОРОННЬОГО ПЛОСКОГО ЛІНІЙНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Спрощення конструкції приводу двоножового ріжучого апарата (ДРА) жатки шляхом усунення зайвих кінематичних ланок передачі та підвищення ефективності роботи приводу досягаються у технічних рішеннях, схеми яких наведені нижче.

На рис. 1 представлено варіант реалізації приводу ДРА із тильним розташуванням приводних двосторонніх плоских лінійних асинхронних двигунів (ДПЛАД) відносно ДРА.

До переваг цієї конструкції належить зручне розташування ДПЛАД відносно ДРА – вони винесені з робочої зони, що не заважає процесу скошування культур. Також передбачена можливість регулювання амплітуди коливань і зусилля ДПЛАД шляхом зміни довжини плеч шарнірів [1].

До недоліків цієї конструкції належить наявність шарнірно-важільних систем, що знижує надійність приводу.

Розглянемо роботу електроприводу ріжучого апарата жатки з тильним розташуванням ДПЛАД.

Ріжучий апарат містить дві рухомі ножові смуги 7 і 8 із сегментами, що рухаються назустріч одна одній. Привід кожної ножової смуги здійснюється від власного ДПЛАД (позиції 1 і 2), верхні 11 і нижні 13 індуктори кожного з яких закріплені в корпусі, жорстко приєднаному до жатки комбайна, та охоплюють

вторинний елемент 12. Вторинні елементи кожного ДПЛАД, у свою чергу, через шарнірно-важільні системи 3...6 з'єднуються з ножовими смугами 7 і 8.

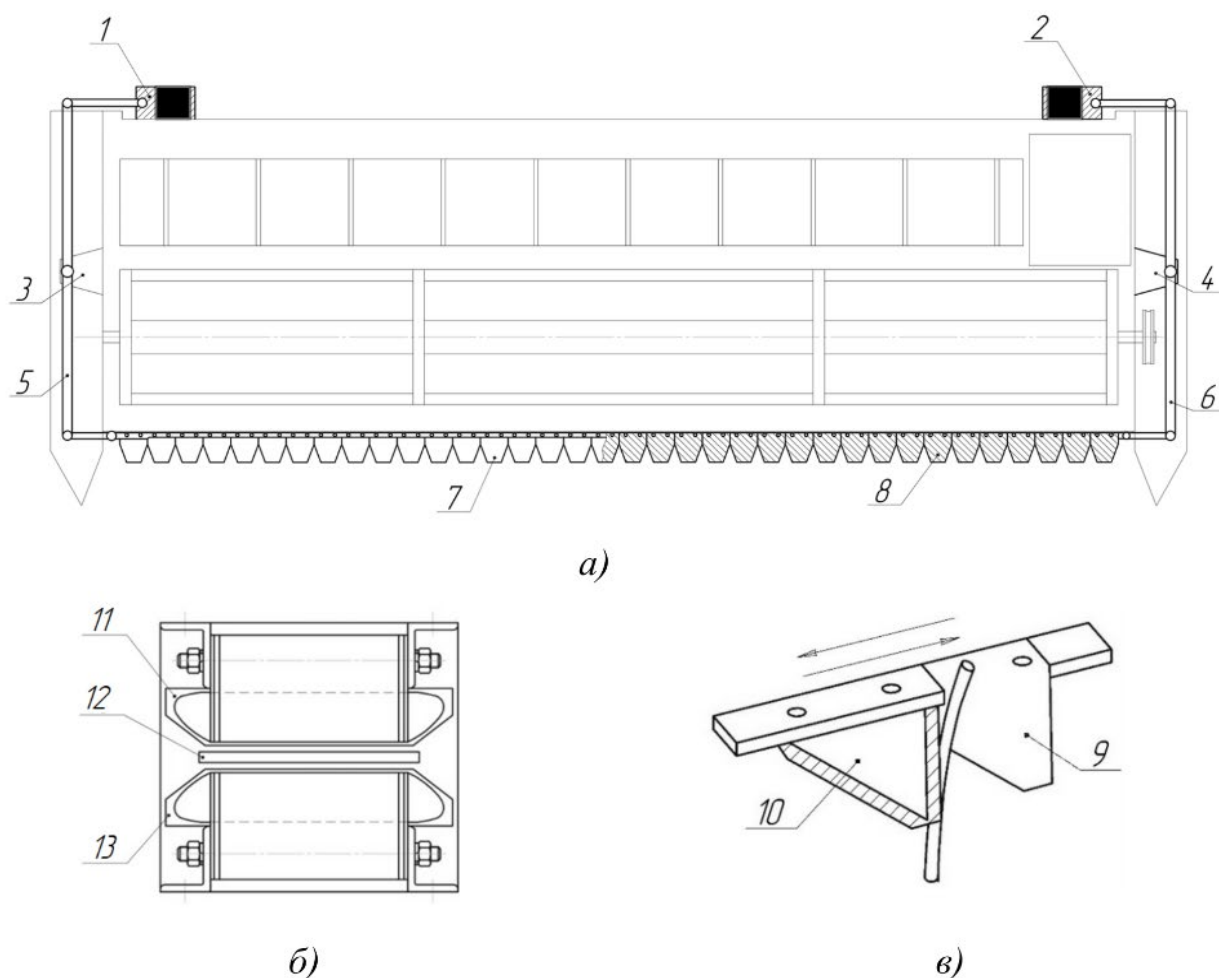


Рис. 1. Жатка з тильним розташуванням приводних ДПЛАД: а – компонування елементів жатки з тильним розташуванням ДПЛАД і приводом ДРА на основі важелів із шарнірами (вигляд зверху); г – конструкція приводного ПЛАД; в – рух ножових смуг у ріжучому апараті; 1, 2 – лінійні асинхронні двигуни приводу ножових смуг; 3, 4 – нерухомі опори шарнірно-важільної системи приводу ножових смуг; 5, 6 – шарнірно-важільні системи приводу ножових смуг; 7 – верхня ножова смуга РА; 8 – нижня ножова смуга РА; 9 – сегмент нижньої ножової смуги; 10 – сегмент верхньої ножової смуги; 11 – верхній індуктор ДПЛАД; 12 – вторинний елемент ДПЛАД; 13 – нижній індуктор ДПЛАД.

Вторинний елемент 12 кожного з двигунів переміщується у фторопластових підшипниках ковзання, закріплених у спільному з індукторами корпусі. Індуктори

11 і 12 можуть переміщуватися у вертикальному напрямку за допомогою регулювальних болтів, завдяки чому під час експлуатації забезпечується налаштування оптимального повітряного зазору ДПЛАД.

Протилежні від вторинних елементів частини ножових смуг під час руху спираються на пружні елементи (на кресленні не показані), жорсткість яких можна регулювати зміною їхньої довжини. Рух ножових смуг є опозитним.

Привід ріжучого апарата жатки з заднім розташуванням ДПЛАД працює таким чином. Під час підключення двостороннього ДПЛАД верхньої ножової смуги 7 до трифазної системи живлення електричний струм в індукторах 11 і 13 створює бігуче магнітне поле. Співнапрямлені магнітні поля у верхньому та нижньому індукторах 11 і 13, взаємодіючи зі струмами, індуктованими в замкненому контурі вторинного елемента 12, викликають появу електромагнітних сил і переміщення вторинного елемента 12, а отже, і ножової смуги 7 у горизонтальному напрямку відносно індукторів ДПЛАД і корпусу жатки – у напрямку дії електромагнітних сил.

У процесі руху вторинного елемента відбувається деформація пружних елементів, установлених між ножовою смугою та корпусом жатки. До моменту повного стиснення пружних елементів здійснюється відключення ДПЛАД від мережі. Під дією потенціальної енергії, накопиченої у стиснених пружних елементах, ножова смуга 9 починає рух у зворотному напрямку. У міру руху ножової смуги пружні елементи повертаються у вихідний стан, після чого відбувається повторне підключення ДПЛАД до джерела живлення. Процес повторюється. Робота ДПЛАД нижньої смуги 10 аналогічна роботі верхньої 10, з тією різницею, що ці ДПЛАД працюють у протифазі, створюючи таким чином зустрічний рух смуг.

Додатково слід зазначити, що виконання частин індуктора з кількістю пар полюсів менше ніж чотири призводить до посилення крайових ефектів у ДПЛАД. Крайові ефекти проявляються у вигляді накладання на основну електромагнітну силу, яку створює двигун і яка приводить у рух ножові смуги, додаткової змінної високочастотної сили з частотою, удвічі більшою за частоту змінного струму

джерела живлення. Це сприяє підвищенню ефективності процесу різання ножовими смугами: зменшується зусилля різання та знос ріжучих крайок ножових смуг.

На рис. 2 представлено варіант реалізації приводу ДРА з боковим розташуванням приводних ДПЛАД відносно ДРА.

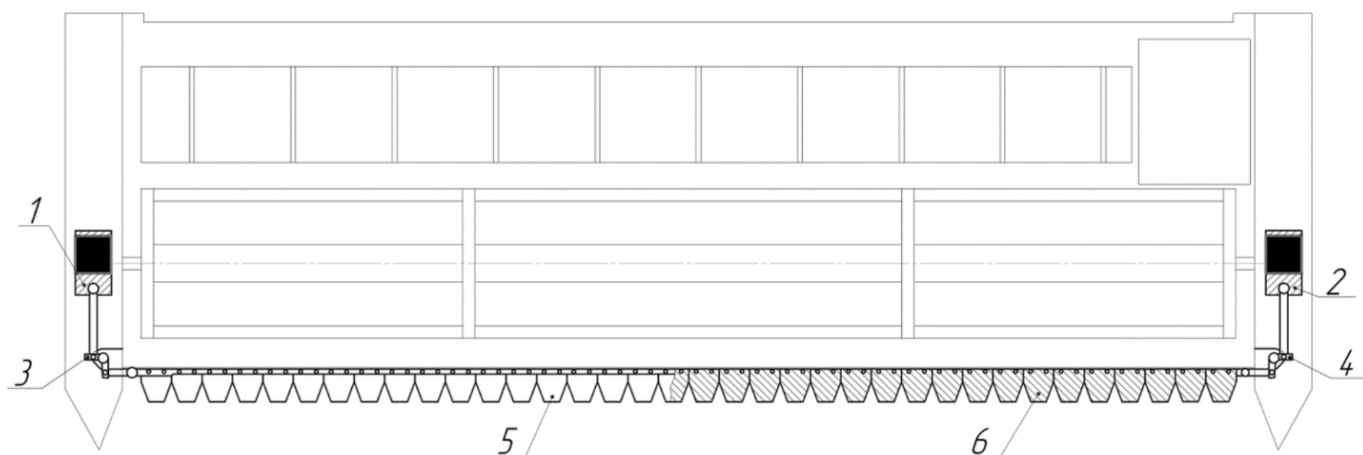


Рис. 2. Жатка з боковим розташуванням приводних ДПЛАД: 1 – ДПЛАД приводу верхньої ножової смуги; 2 – ДПЛАД приводу нижньої ножової смуги; 3 – коромисло приводу верхньої ножової смуги РА; 4 – коромисло приводу нижньої ножової смуги РА; 5 – верхня ножова смуга РА; 6 – нижня ножова смуга РА.

До переваг цієї конструкції належить зручне розташування ДПЛАД відносно ДРА – вони винесені із робочої зони вбік жатки, завдяки чому не перешкоджають процесу скошування культур. Також конструкція передбачає можливість модернізації наявних приводів жаток із коромислами шляхом заміни існуючого приводу на ДПЛАД. До недоліків цієї конструкції належить наявність коромисел, що змінюють напрямок руху на 90° і можуть спричиняти появу додаткових навантажень на п'ятку ножової смуги.

Конструкція цього лінійного електроприводу ДРА працює аналогічно до конструкції, наведеної на рис. 2.

На рис. 3 представлено варіант реалізації приводу ДРА з фронтальним розташуванням приводних ДПЛАД відносно ДРА.

Основною перевагою цієї конструкції є те, що привідні ДПЛАД розташовані безпосередньо біля ножових смуг ріжучого апарата, завдяки чому вторинний

елемент двигуна фактично є продовженням ножової смуги. Таким чином, робочий орган ріжучого апарата об'єднано з вторинним елементом ДПЛАД в єдину систему, що дозволяє майже повністю усунути проміжні кінематичні ланки та зменшити навантаження на п'ятку ножової смуги до мінімуму.

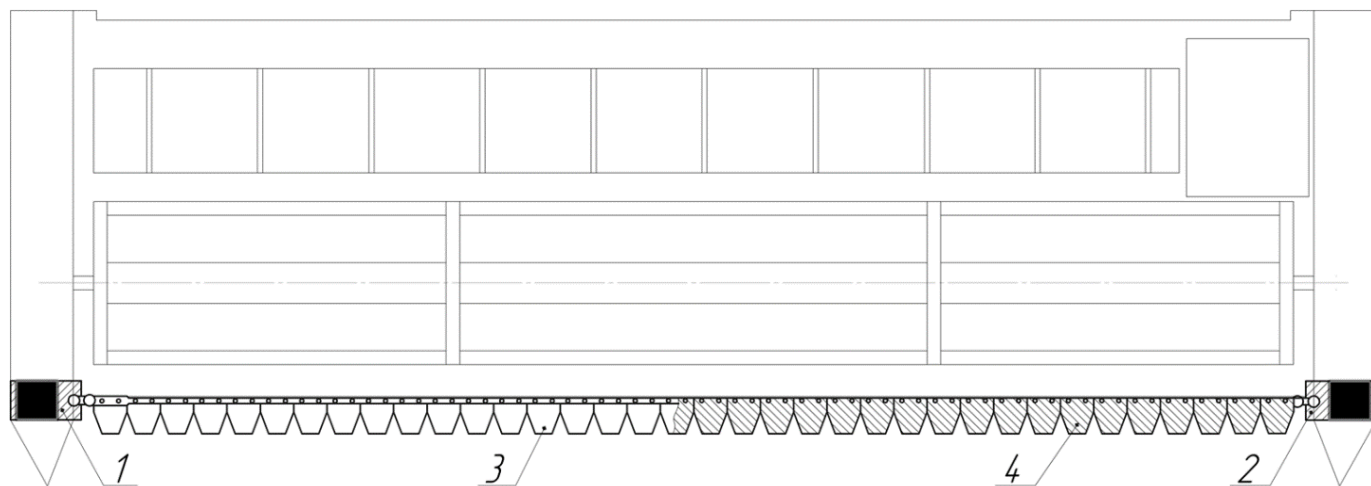


Рис. 3. Жатка з фронтальним розташуванням приводних ДПЛАД: 1 – ДПЛАД, який приводить у дію верхню ножову смугу; 2 – ДПЛАД, що забезпечує рух нижньої ножової смуги; 3 – верхня ножова смуга ріжучого апарата; 4 – нижня ножова смуга ріжучого апарата.

Недоліком цієї схеми є необхідність розташування ДПЛАД у робочій зоні жатки, що ускладнює їх монтаж і потребує ретельного розміщення для запобігання перешкодам під час скошування культур.

Для практичної реалізації було обрано конструкцію приводу ріжучого апарата з фронтальним розташуванням ДПЛАД.

Список використаних джерел

1. Tang Z., Tai S., Li B., Wang S., Liu Y., Jing T. Xiaohu G. Critical review of sunflower harvesting header technology: Loss reduction, adaptability, and intelligent mechanization. Smart Agricultural Technology. Volume 12, December 2025, 101237. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2025.101237>.

Денис НОНИК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Дмитро ДЕРЕВ'ЯНКО

д-р. техн. Наук, професор

Поліський національний університет, м. Житомир

ОБМОЛОТ ЗЕРНОВИХ І ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ АКСІАЛЬНО-РОТОРНИХ МОЛОТИЛЬНО- СЕПАРУВАЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Підкреслюється, що значна частина витрат на виробництво зерна (50–55%) припадає на збирання та транспортування врожаю для подальшої обробки. Це робить актуальним постійне вдосконалення технологій збирання врожаю та використовуваної техніки з метою зниження собівартості зерна [1].

Зернозбиральний комбайн є основним інструментом для збирання різних культур, зокрема зернових, бобових, круп'яних, олійних та інших. Попри значний прогрес у розробленні та експлуатації комбайнів, зернозбиральний комплекс загалом усе ще потребує вдосконалення – як у конструкції робочих органів і виборі їх оптимальних параметрів, так і в організації всього процесу збирання врожаю та адаптації техніки до різних умов роботи.

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності комбайнів є заміна традиційного тангенціального молотильного апарата та клавішного соломотряса на аксіально-роторні молотильно-сепарувальні пристрої (МСУ).

У таких пристроях обмолот і сепарація відбуваються одночасно: зернова маса переміщується по спіралі вздовж осі обертання ротора в зазорі між ротором і підбарабанням, де здійснюється обмолот зерна та його сепарація із зони обмолоту.

Перший роторний комбайн (ТР 70) був випущений у США в 1974 році компанією «Sperry New Holland». Його молотильно-сепарувальний пристрій

складався з двох повздовжньо розташованих роторів діаметром 432 мм [1]. Маса, що надходить розподілялася на два потоки й подавалася до цих роторів, що оберталися у протилежних напрямках. Під роторами розташовувалася сепарувальна поверхня. Обмолот здійснювався за допомогою бичів, установлених паралельно, а сепарація – у суміжній зоні. Наприкінці кожного ротора маса скидалася відбійним бітером, під яким також розміщувалася сепарувальна решітка. Під молотильно-сепарувальним пристроєм містилася система очищення зерна традиційного типу.

У роторних комбайнах фірм «International Harvester» та «White» використовується система обмолоту й сепарації з одним ротором, розташованим уздовж корпусу машини. Зокрема, модель 1480 «International Harvester» оснащена аксіальним (роторним) молотильно-сепарувальним пристроєм (МСУ), який складається з довгого ротора (2743 мм завдовжки та 762 мм у діаметрі), розташованого повздовжньо, і стаціонарного кожуха. Нижня частина кожуха виконана у вигляді підбарабання для обмолоту та решітки для сепарації [2].

Швидкість обертання ротора регулюється варіатором і є співставною зі швидкістю барабана в традиційних тангенціальних системах обмолоту. Вісь ротора нахилена під кутом 15 градусів до горизонталі, і рослинна маса подається в ротор аксіально. У передній частині ротора розташований конус із чотирма лопатями, які захоплюють подану масу та спрямовують її в зону обмолоту. Переміщення маси вздовж ротора в зоні обмолоту здійснюється за допомогою бичів із рифленням, закріплених на циліндрі ротора. Ці бичі мають як гвинтову, так і пряму форму. У зоні сепарації встановлені прямі лопаті, розміщені паралельно осі ротора.

Ротор обертається всередині циліндричного кожуха, відкритого з торців. На початку кожуха розташований воронкоподібний усічений конус, який з'єднується із зоною обмолоту. На внутрішній поверхні розміщені гвинтові напрямні (п'ять заходів), що сприяють інтенсивному просуванню маси в осьовому напрямку. Для полегшення подачі маси в МСУ у воронкоподібному кожусі передбачені західні кишені, які розширюють більше підґрунтя конуса до ширини транспортера нахильної камери. Аксіальні гвинтові напрямні розташовані у верхній, закритій частині циліндричного кожуха, який охоплює ротор. У зоні сепарації встановлені

фіксовані сепарувальні решітки, що утворюють постійний зазор із ротором. За ротором розміщений відбійний бітер, який викидає соломку з молотарки.

Комбайн «White 9700» оснащений одним горизонтальним ротором, розташованим уздовж корпусу. Ротор має довжину близько 4,3 метра та діаметр 80 см. Зернова маса подається в ротор аксіально, тобто вздовж його осі. Ротор закритого типу й має приймальну частину з тризаходним шнеком для первинної обробки. Перед ротором установлений бітер, який спрямовує масу в молотильно-сепарувальний пристрій (МСУ).

Всередині ротора розміщено три зони обмолоту з рифленими поверхнями, за якими розташовані пари бичів із подібними рифами. Перший бич (за напрямом обертання) має спеціальну лобову поверхню. Переміщення маси вздовж ротора забезпечується бичами та напрямними, розташованими на підбарабанні, сепарувальних решітках і внутрішній поверхні кожуха ротора.

Зона обмолоту обладнана підбарабанням, що складається із семи секцій із регульованими зазорами. У зоні сепарації встановлені пруткові та пробивні решітки з фіксованим зазором відносно ротора. У цій конструкції МСУ відбійний бітер відсутній.

Комбайни «Allis-Chalmers» (моделі №5, №6 і №7) використовують аксіальне МСУ, розташоване поперек корпусу. Ротор довжиною близько 2,3 метра та діаметром 63 см складається з десяти дисків, на яких закріплені бичі з лівим нарізом.

Хлібна маса завширшки 1 метр подається на ротор під кутом за допомогою нахильного транспортера. Після проходження зони обмолоту з регульованим підбарабанням маса рухається по спіралі в зону сепарації. Зазори підбарабання регулюються як грубо (болтами), так і точно (ексцентриковим механізмом).

Сепарувальні решітки мають фіксований зазор у 26 мм відносно ротора.

В аксіально-роторних зернозбиральних комбайнах відокремлення зерна відбувається по всій площі циліндричної поверхні кожуха. Спеціальний механізм, що рухається вперед-назад над сепарувальною решіткою, запобігає накопиченню

зерна у верхній частині кожуха. Обмолочена маса підхоплюється крильчаткою на роторі та спрямовується до відбійного бітера.

Широке застосування та постійне вдосконалення аксіально-роторних молотильно-сепарувальних систем у зернозбиральних комбайнах спостерігається в західних країнах і США.

У нашій країні, починаючи з другої половини 1980-х років, також розпочали розроблення та впровадження подібних систем у конструкції зернозбиральних комбайнів. Такі системи, як правило, застосовувалися в комбайнах із великою пропускною здатністю (понад 10 кг/с), таких як СК-10 і Дон 2600ВД, із шириною молотарки понад 1,2 метра.

Упровадження нових конструкцій молотильно-сепарувальних пристроїв (МСУ) зернозбиральних комбайнів є необхідністю, оскільки підвищення ефективності та якості збирання зернових та інших культур значною мірою залежить від збільшення пропускної здатності комбайнів. Однак просте збільшення пропускної здатності без застосування інноваційних принципів обмолоту та сепарації зерна призводить до небажаних наслідків.

Наприклад, збільшення пропускної здатності на 1 кг/с тягне за собою збільшення маси комбайна приблизно на 1,5 тонни. Це, у свою чергу, спричиняє ущільнення ґрунту, погіршення рельєфу полів і посилення ерозійних процесів.

Крім того, комбайни з шириною молотарки понад 1,5 м досягли межі, зумовленої обмеженнями на їх транспортування залізницею. Їх експлуатація потребує значних інвестицій у доопрацювання машин у господарствах, а також у будівництво більших ремонтних майстерень та ангарів. Важливо зазначити, що номінальна пропускна здатність часто не відповідає фактичній продуктивності. Наприклад, комбайн із номінальною пропускною здатністю понад 1,6 кг/с може ефективно працювати лише за врожайності не нижче 28 ц/га.

Як альтернатива, комбайни з аксіально-роторною молотильно-сепарувальною системою демонструють низку переваг. Випробування показали, що їх матеріаломісткість у 1,2 раза нижча, ніж у комбайнів із традиційною молотаркою. Компактність конструкції дає змогу збільшити об'єм бункера.

Завдяки сепарації, що ґрунтується на дії відцентрових сил, такі машини менш чутливі до нахилів під час роботи на горбистій місцевості. За однакової подачі матеріалу аксіально-роторні комбайни знижують втрати та подрібнення зерна у 2–3 рази.

Експериментальні дані свідчать про багатообіцяючі результати використання комбайнів з аксіально-роторними молотильно-сепарувальними пристроями, особливо під час збирання таких культур, як горох і соя. Водночас необхідно враховувати й недоліки зернозбиральних комбайнів роторного типу. До них належать: підвищене енергоспоживання на привід робочих органів, зниження ефективності роботи під час збирання вологого зерна або зерна з домішками, а також надмірне подрібнення соломи, що створює додаткове навантаження на систему очищення.

Попри це, широке впровадження та використання зернозбиральних комбайнів з аксіально-роторними системами обмолоту й сепарації в агропромисловому комплексі країни є виправданим і необхідним кроком. У зв'язку з цим подальші дослідження в цій галузі мають надзвичайно важливе значення.

Список використаних джерел

1. Abdeen M. A. The impact of threshing unit structure and parameters on enhancing rice threshing performance. *Sci Rep.* 2025 Feb 20;15:6250. Doi: 10.1038/s41598-025-91118-5.
2. A. Vejasit and V. Salokhe. Studies on Machine-Crop Parameters of an Axial Flow Thresher for Threshing Soybean. *Agriculture Engineering International: the GIGR Journal of Scientific Research and Development.* Manuscript PM 04 004. July, 2004.

Олег ОВЧАРУК

доктор с.-г. наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Andrzej BORUSIEWICZ

доктор технічних наук, професор,

проректор з наукової роботи та розвитку

Міжнародної академії прикладних наук в Ломжі

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ АГРОДРОНІВ ДЛЯ ВНЕСЕННЯ ЗЗР

З огляду на зростаючі виклики в сучасному сільському господарстві, такі як зміна клімату, стає управління ресурсами та продовольча безпека, агродрони стають важливими інструментами для трансформації точних агротехнологій.

Агроценози вимагають постійного догляду та контролю, що традиційно виконується наземною технікою. Поява агродронів суттєво економить час, зусилля і кошти, а головне – можливість оптимізувати виробничі процеси та зменшити втрати врожаю.

Один агродрон може легко закрити завдання із внесення ЗЗР в господарстві з площею 2-3 тис. га. Також можна обробити поле точково та уникнувши витоптування посіву через технологічні колії колісних оприскувачів.

Використання агродронів з невеликим об'ємом споживання дозволяє знизити витрати води в 24 рази, порівняно із самохідним обприскувачем. Розрахункова норма внесення робочого розчину для агродронів DJI Agras T50 становить 8 л/га, діапазон становить від 5 до 12 л/га.

За допомогою агродрона можна не лише доглядати за полями, а й спостерігати за станом рослин.

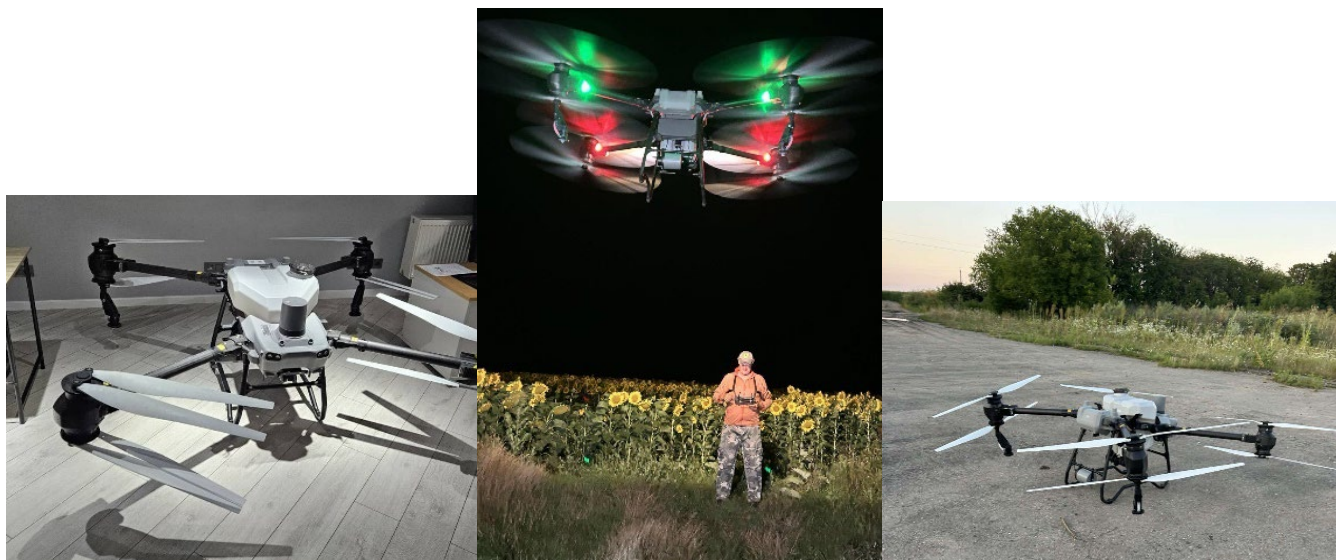


Рис.1. Агродрон DJI Agras T-50

Розрахунок вегетаційних індексів, особливо нормалізованого різницевого індексу рослинності (NDVI), став одним із найуспішніших, популярних і традиційних способів біогеографічних методів дослідження, оскільки NDVI має певні переваги перед іншими вегетаційними індексами або комбінаціями смуг. NDVI менше залежить від властивостей ґрунту досліджуваної території, а також від денного освітлення порівняно з простою комбінацією червоно-інфрачервоних смуг. NDVI добре налаштований спеціально для аналізу властивостей рослинності, які можна опосередковано інтерпретувати з кольорів об'єктів, як показано на растровому зображенні. Однак кореляція результатів, отриманих із супутникових спектральних сигналів, може не обов'язково точно співвідноситися з реальними даними щодо якості біомаси та рослинності, що спричинено місцевими кліматичними умовами та біогеохімічним фоном досліджуваної території.

Веgetаційний індекс NDVI змінюється упродовж вегетаційного періоду від початку росту, цвітіння і до дозрівання рослин. На початку вегетації індекс наростає, у момент цвітіння його зростання зупиняється, потім по мірі дозрівання індекс знижується. Залежно від родючості ґрунту, метеорологічних умов, технології вирощування швидкість розвитку біомаси буває різною. Тому, за середнім значенням індексу NDVI на полі легко порівнювати стан посівів під час вегетації: на одних полях рослини агробіоценозу розвиваються швидше (краще), рівномірно, а на

інших – повільніше (гірше), строкато. Найбільш точний прогноз врожайності посівів культур за індексом NDVI можна дати у момент проходження піку значення цього індексу.

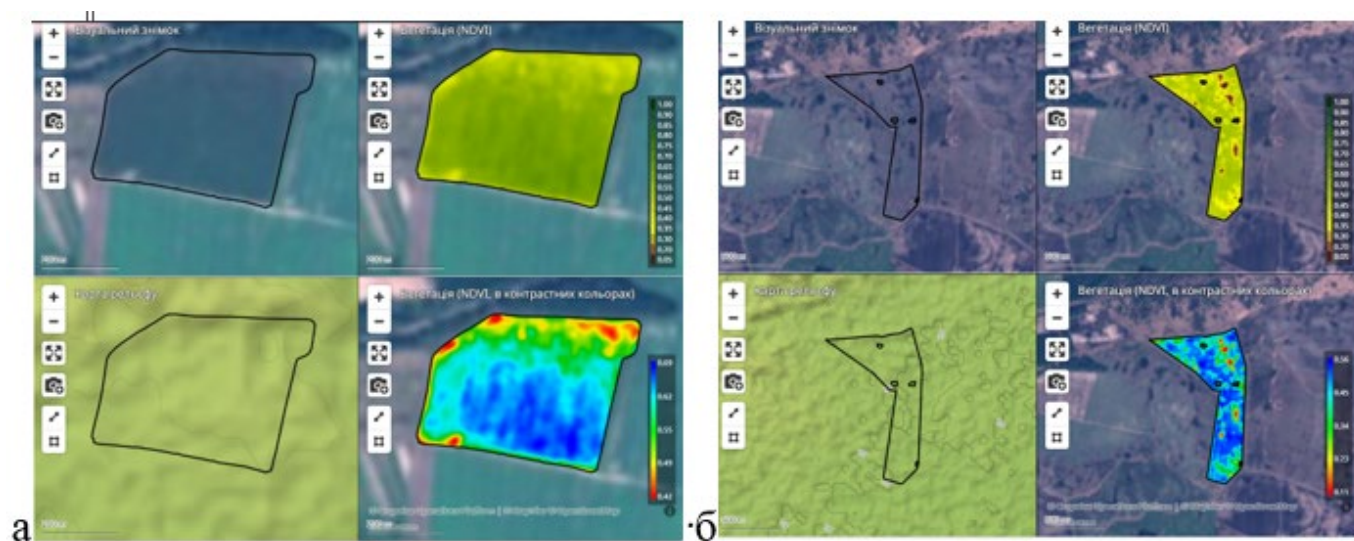


Рис. 2. Показники NDVI

Список використаних джерел

1. Петровченко, М. В., Овчарук О. В., and Крушельницький В. В. Агродрони–інноваційне рішення агротехнічних завдань. Тенденції та виклики сучасної аграрної науки: теорія і практика: збірник наукових праць міжнародної науково-практичної конференції [Київ], 20-22 жовтня 2021 р. – Київ/НУБІП України, 2021. С 238-240.
2. Овчарук, О. В., Рябко, М. В., & Мирна, М. М. (2024). Вегетаційний індекс NDVI–інноваційне рішення в моніторингу стану агробіоценозів.
3. Anitei, M.; Veres, C.; Pisla, A. Research on Challenges and Prospects of Digital Agriculture. Proceedings 2020, 63, 67.

Михайло ОЛІЙНИК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Андрій ІЛЬЧЕНКО

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ КОРМІВ

Класифікація змішувачів для кормів базується на ряді функціональних і конструктивних ознак, що дає змогу обрати оптимальний варіант для конкретних завдань і умов експлуатації (рис. 1) [1, 2]:

- за конструкцією робочого елемента;
- за конфігурацією розташування корпусу;
- за тривалістю та режимом роботи;
- за характеристиками оброблюваних інгредієнтів;
- за функціональною специфікою;
- за типом змішувального механізму.

Вертикальні змішувачі зазвичай являють собою циліндр із конусоподібним днищем знизу та воронкою для завантаження зверху. Унизу розташований вертикальний шнек. Сировина потрапляє в нижню воронку, шнек піднімає її вгору, після чого маса спадає вниз по стінках. Таким чином процес відбувається безперервно, а цикл змішування зазвичай триває всього кілька хвилин.

Характерним недоліком є невисока однорідність корму під час додавання рідких інгредієнтів.

Горизонтальний змішувач зазвичай придатний як для сухих, так і для вологих матеріалів. Одним із прикладів конструкції є мішалка з лопатями, розташованими на центральному валу, а в нижній частині – вивантажувальний шнек, який подає готову суміш до вивантажувального отвору (рис. 2). Існують також конструкції з двома

валами, що обертаються назустріч один одному, що забезпечує швидше перемішування матеріалу (рис. 3).

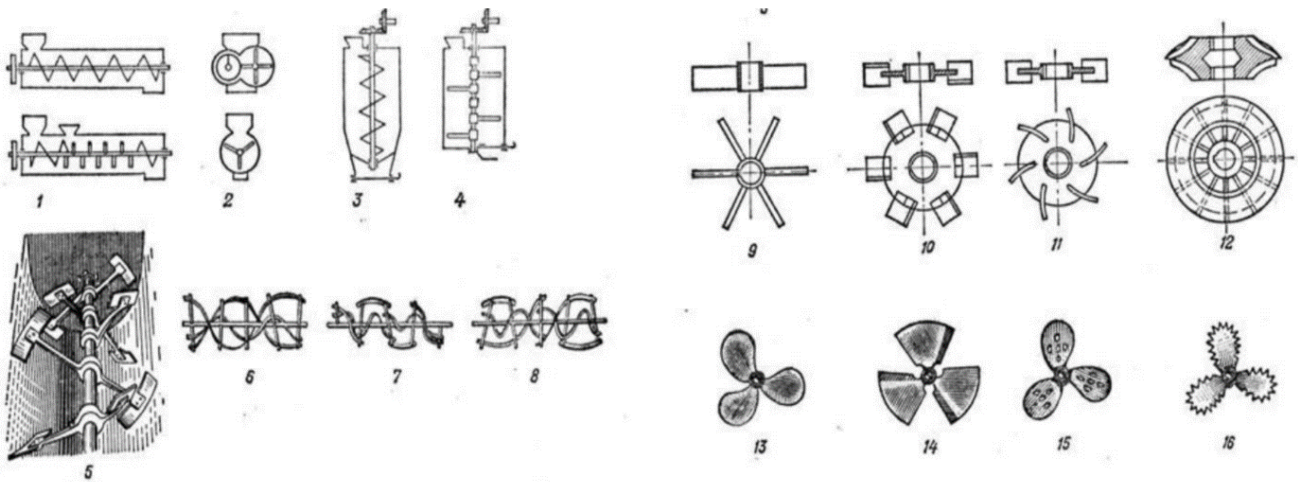


Рис. 1. Схематичні зображення основних типів мішалок: 1–3 – змішувачі шнекового типу; 4–5 – лопатеві змішувачі; 6–8 – стрічкові змішувачі; 9–12 – турбінні змішувачі; 13–16 – пропелерні змішувачі.

Діагональний змішувач найбільш ефективно працює під час змішування порошкоподібної маси та дрібнозернистих кормів, а також добре зарекомендував себе при додаванні рідких інгредієнтів – патоки, жиру, олії тощо. Планетарний шнековий змішувач безперервної дії, зображений на рисунку 6, призначений для обробки сухих зернистих матеріалів.

Принцип його роботи ґрунтується на особливому розташуванні вала шнекової мішалки, який установлений з ексцентриситетом відносно вертикальної осі корпусу конічної форми. Рух мішалки має складну траєкторію: вона обертається навколо власної осі (це так зване відносне обертання), а водночас здійснює планетарний рух навколо осі корпусу – тобто переносне обертання.

Також існують змішувачі, у яких привід шнека здійснюється від двигуна, встановленого на верхній кришці. У цьому випадку зростає навантаження на привід обертання шнека, що ускладнює конструкцію. У патенті розглянуто процес приготування кормосуміші з використанням бункерного змішувача кормів, у якому робочий орган обертається по колу, здійснюючи перемішування поблизу стінок бункера.

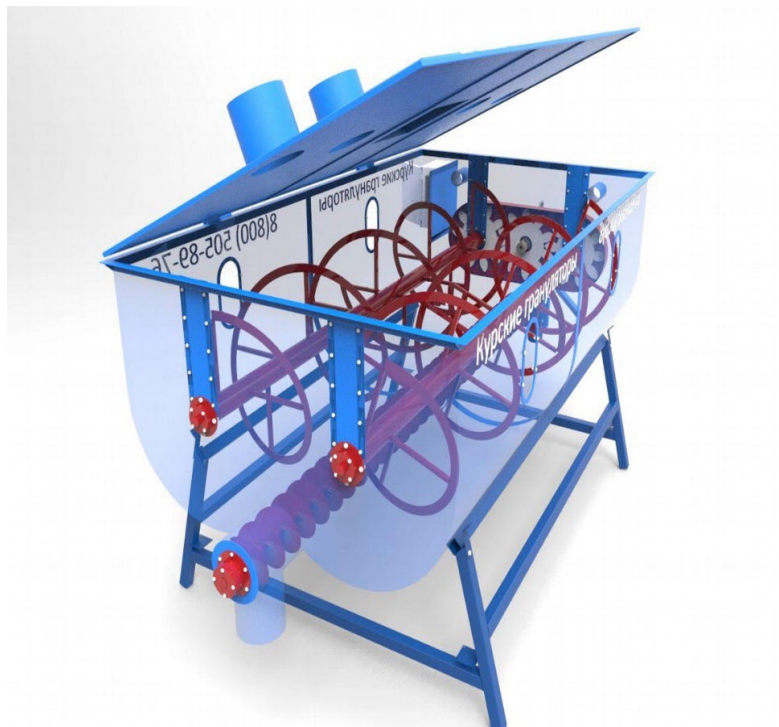


Рис. 2. Зовнішній вигляд горизонтального змішувача.

Змішувачі цього типу відрізняються високою металоємністю, значною масою та габаритами. Недоліком конструкції є періодичний характер її роботи.

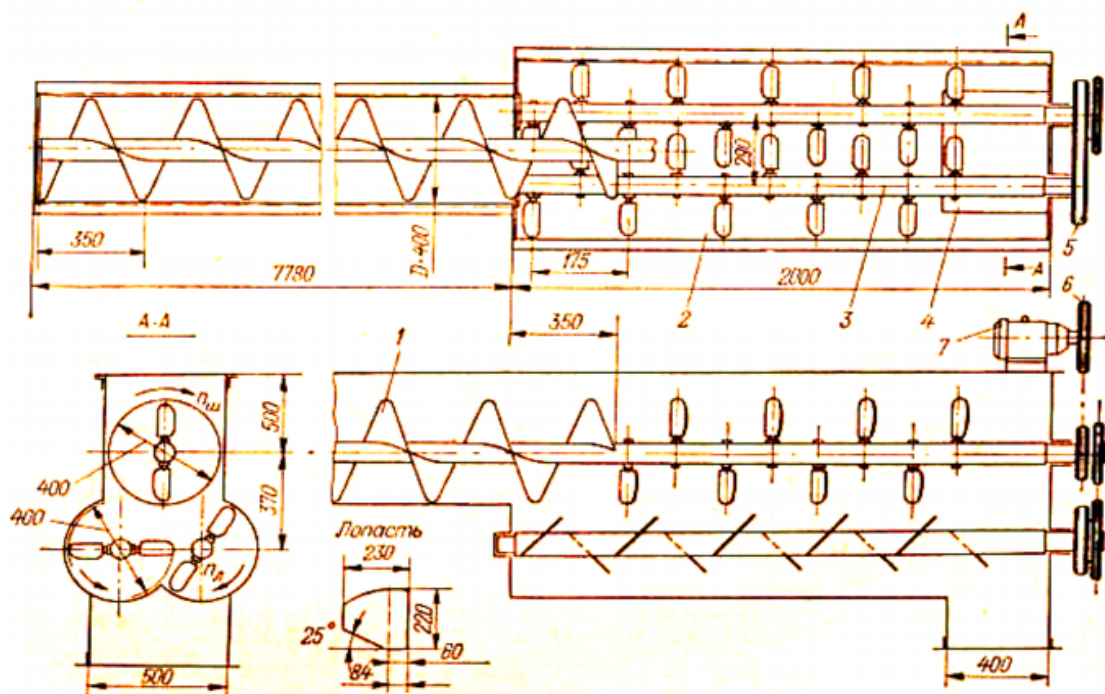


Рис. 3. Схема експериментального змішувача вологих кормів:

1 – горизонтальний шнек; 2 – двовальний лопатевий робочий орган;

3 – вал лопатевий; 4 – вивантажувальне вікно; 5 – шестерні; 6 – змінний зубчастий вінець; 7 – електродвигун.

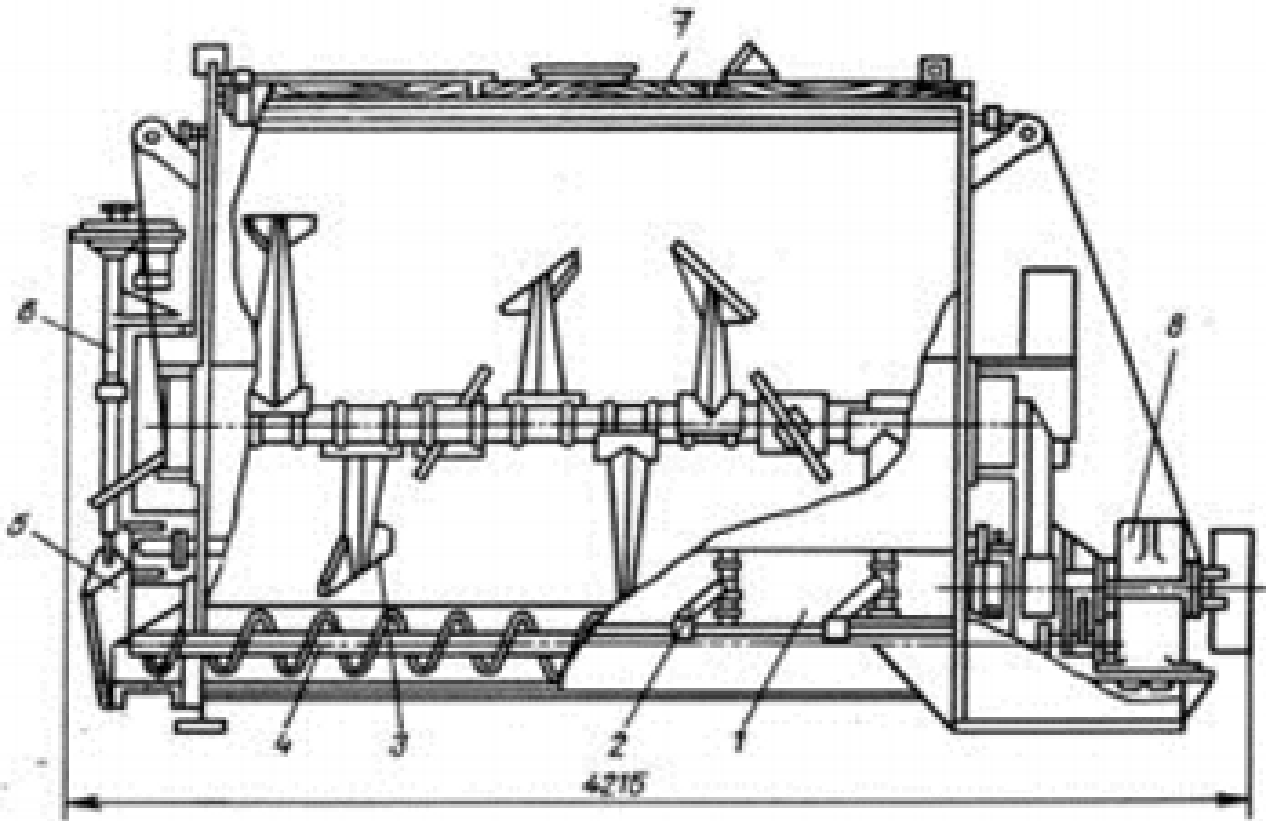


Рис. 4. Схема змішувача С-12: 1 – корпус; 2 – паророзподільник;

3 – лопатевий змішувач; 4 – вивантажувальний шнек;

5 – вивантажувальний патрубок із клиновою засувкою; 6 – система керування;

7 – кришка; 8 – привід.

Ще однією з поширених конструкцій змішувачів кормів є горизонтальні змішувачі типу СК-3.0 (рис. 6). Компоненти для приготування кормів завантажують у змішувальну камеру 2. Після ввімкнення електропривода 7 починає обертатися вал із стріковою навивкою 4, який здійснює перемішування компонентів кормосуміші. Після завершення процесу перемішування корм вивантажують через вивантажувальне вікно 6.

Згідно з проведеними дослідженнями цього змішувача, оптимальна рівномірність змішування досягається лише за певного коефіцієнта заповнення змішувача. У разі значних відхилень від оптимального значення з'являється нерівномірність змішування.

Однією із сучасних моделей є змішувач кормів типу СГО. Його особливістю є U-подібна форма корпусу, у якому безпосередньо відбувається процес змішування. Такі модифікації змішувачів є більш доцільними для приготування концентрованих кормів для всіх видів сільськогосподарської птиці, риби, кроликів та інших видів тварин.

До конструкції змішувального механізму входить кілька ключових елементів. Основний вал оснащений спицями, розташованими під прямим кутом одна до одної, що підвищує ефективність процесу змішування. Крім того, механізм містить два спіральні контури, які спрямовують продукт у протилежні боки, забезпечуючи рівномірність змішування. Для запобігання утворенню «мертвих зон», де перемішування могло б ускладнюватися, застосовуються спеціальні чистики, які також дають змогу повністю вивантажувати вміст змішувача без залишків.

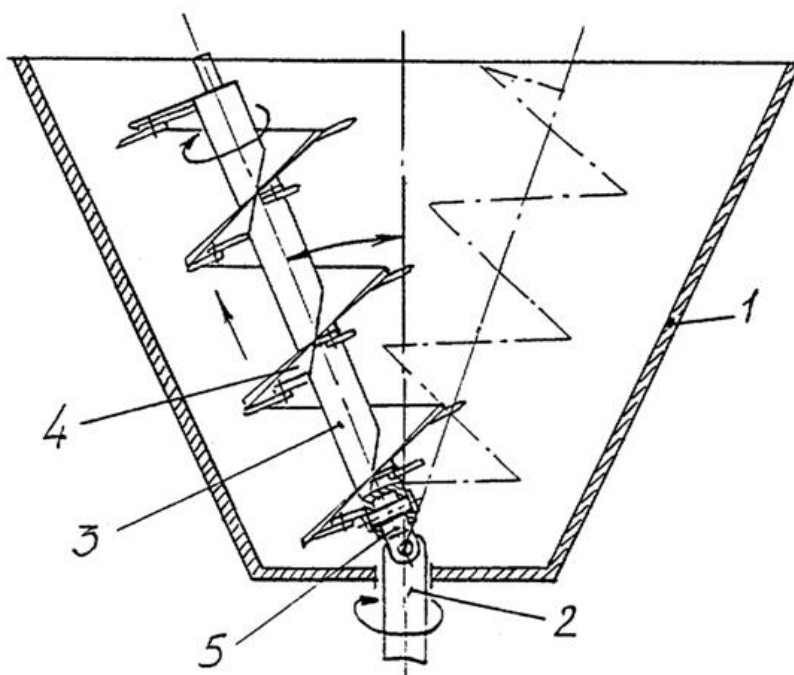


Рис. 5. Схема планетарного шнекового змішувача сухих кормів.

З огляду на зручність експлуатації, кришка змішувача обладнана завантажувальним лотком із шиберною заслінкою, що значно спрощує процес подачі та вивантаження матеріалу. Вивантажувальний патрубок розміщено зі зміщенням відносно центральної осі апарата, завдяки чому під ним зручно

встановлювати ємність для збору готової суміші або транспортер для подальшого переміщення продукту.

Горизонтальний змішувач типу СГО має спеціальні штуцери, через які рідкі компоненти можуть подаватися безпосередньо під час процесу змішування. Така конструкція забезпечує ефективну роботу з вологими кормосумішами, сприяючи рівномірному розподілу всіх інгредієнтів у готовому продукті.

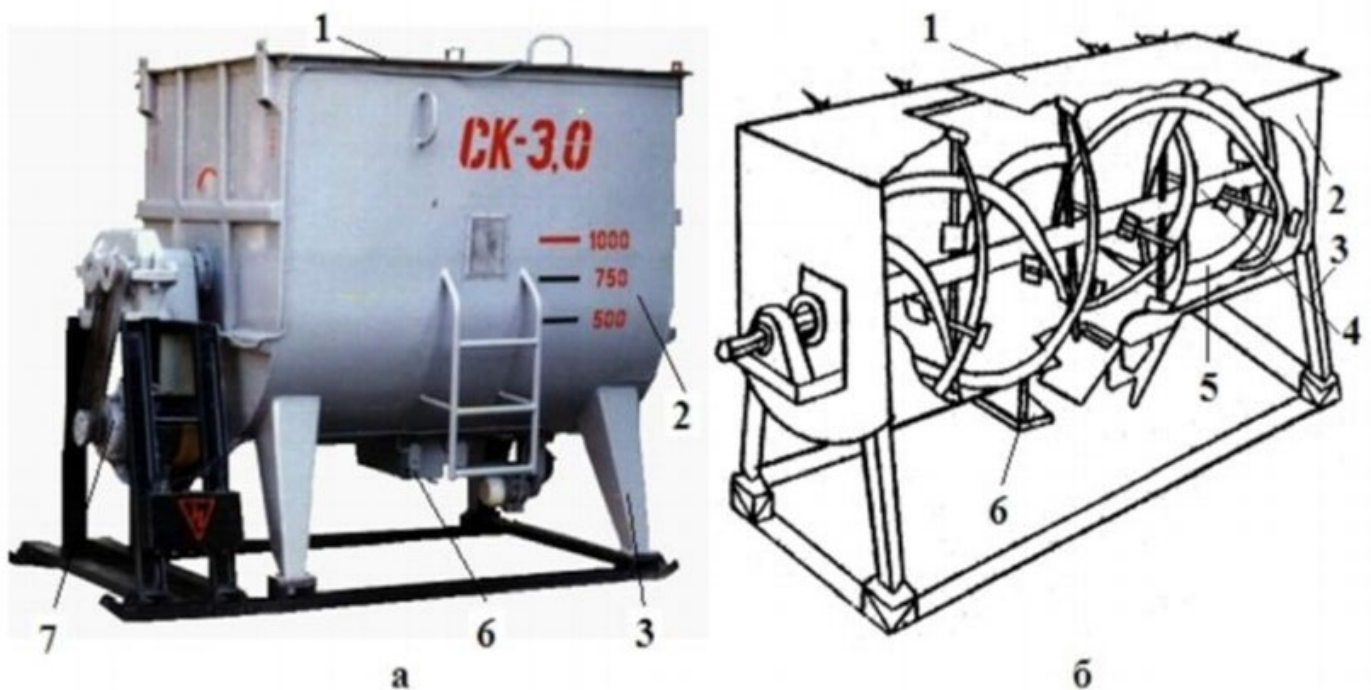


Рис. 6. Загальний вигляд і схема горизонтального змішувача кормів СК-3.0: 1 – кришка; 2 – корпус зі змішувальною камерою; 3 – рама; 4 – вал із стрічковою навивкою (шпек); 5 – лопаті вала; 6 – вивантажувальне вікно; 7 – електропривід.

Призначений для змішування багатокомпонентних комбікормів із високим ступенем однорідності та приготування білково-вітамінно-мінеральних добавок (БВМД) на основі білкової сировини й преміксів із мінімальними витратами.

Горизонтальні лопатеві міксери типу СВГ застосовуються для приготування білково-вітамінно-мінеральних кормів (БВМК) із білкових основ і преміксів з мінімальними витратами в умовах фермерського господарства. Ці пристрої

призначені для створення однорідних сумішей із сухих, сипучих, вологих та рідких компонентів корму. У процесі змішування суміш не розділяється на окремі фракції, а її складові не піддаються додатковому нагріванню чи подрібненню. Допускається введення рідких інгредієнтів у кількості до 15% від загального об'єму суміші. Конструкція робочих елементів забезпечує повне самостійне вивантаження міксер. Підшипники винесені назовні, завдяки чому суміш захищена від потрапляння підшипникового мастила, а самі підшипники – від контакту з продуктом. Вузли з підшипниками оснащені сальниками, які запобігають проникненню пилу.

Аналіз використання кормозмішувачів різних типів у тваринництві виявляє низку проблем, що перешкоджають широкому впровадженню цієї технології в галузі. Розглянемо основні з них із використанням наукової та технічної термінології [3].

1. Недостатній комплексний підхід до інтеграції сучасних технологічних рішень у молочному тваринництві. Проблема полягає у відсутності системного впровадження інновацій, що призводить до неефективного використання потенціалу нових технологій. Це включає недостатню увагу до адаптації інноваційних кормозмішувачів до специфічних умов господарств, що знижує їх загальну продуктивність і позитивний вплив на показники продуктивності тварин.

2. Людський фактор і проблеми експлуатації техніки. Ця проблема охоплює питання кваліфікації обслуговувального персоналу, дотримання правил експлуатації та збереження обладнання. Недостатня підготовка працівників до роботи з новими технологічними пристроями може призвести до зниження ефективності їх використання, збільшення простоїв обладнання та передчасного зношування його складових.

3. Недостатність фінансових ресурсів для обслуговування та оновлення техніки. Багато сільськогосподарських підприємств стикаються з обмеженими бюджетами, що ускладнює проведення регулярного технічного обслуговування та модернізації обладнання. Це призводить до підвищеного зношування техніки, зниження ефективності процесу кормовиробництва та можливих збоїв у годівлі тварин.

4. Застарілі конструкції ферм як обмежувальний чинник для впровадження нових технологій. Фізична інфраструктура багатьох старих ферм не відповідає сучасним вимогам для розміщення та ефективного використання новітніх технологічних рішень, зокрема кормозмішувачів. Це може включати недостатні розміри приміщень, несумісність архітектурних споруд із новими технологічними лініями, а також потребу у значних капіталовкладеннях для модернізації об'єктів, що ускладнює процес оптимізації методів утримання великої рогатої худоби та виробництва кормів.

Таким чином, розвиток змішувачів удосконалюється шляхом розроблення нових технічних і конструктивних рішень, заснованих на підвищенні ефективності техніко-економічних показників і параметрів обладнання для змішування. Важливу роль відіграє інтенсивність процесу змішування за допомогою лопатей та інших елементів, що сприяють досягненню більшої однорідності отримуваних концентрованих кормів.

Усе вищесказане дає підстави зробити висновок про низьку ефективність використання цього технологічного обладнання в умовах виробництва продукції тваринництва.

Наведені вище змішувачі характеризуються значним споживанням потужності, недостатньою однорідністю отримуваної кормової суміші та низькою експлуатаційною надійністю.

Список використаних джерел

1. Єгоров Б. В. Технологія виробництва комбікормів: підручник. Одеса: Друк. Дім, 2011. 448 с.
2. Дяченко Л.С. Основи технології комбікормового виробництва: навч. Посібник. Біла Церква, 2015. 306 с.
3. Paul E. L., Atiemo-Obeng V., Kresta S. Handbook of Industrial Mixing: Science and Practice. Wiley, 2004. 1432p.

Юрій ОСТАФІЙЧУК,

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Бакалавр»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Юрій ФІРМАН

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО КЛАСИФІКАЦІЇ ЧИННИКІВ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ

Розглянуто підходи до систематизації чинників, що впливають на ефективність механізованого вирощування картоплі у фермерських господарствах. Запропонована багаторівнева класифікація охоплює як об'єктивні, так і суб'єктивні чинники, дозволяючи більш точно моделювати аграрні процеси та обґрунтовувати інженерно-економічні рішення.

Картопля є однією з провідних продовольчих культур України. Проте сучасні умови господарювання, особливо у малих і середніх фермерських господарствах, потребують глибокого аналізу ефективності використання технічних і організаційних ресурсів. Оптимізація механізованого вирощування картоплі вимагає врахування комплексу чинників, що впливають на результати виробництва. Саме тому зростає актуальність побудови структурованої системи класифікації таких чинників – це дозволяє створювати математичні моделі, проводити комп'ютерні експерименти та визначати оптимальні виробничі стратегії [1, с. 73].

У більшості сучасних агроінженерних досліджень ефективність процесу механізованого вирощування культури розглядається як функція багатьох змінних. У випадку картоплі, модель ефективності можна записати у вигляді:

$$E = f(A_m, P_r, A_f, T_l, T_n, O_s, O_m)$$

де: A_m – агрометеорологічні чинники,

P_r – природно-рельєфні,

Аф – агрофонові,
Тл – технологічні,
Тн – технічні,
Ос – організаційно-стратегічні,
От – організаційно-тактичні [2, с. 44].

Такий поділ дозволяє більш чітко ідентифікувати вплив кожної групи чинників на хід і результат технологічного процесу.

Об'єктивні чинники ефективності

До об'єктивних належать умови, які не залежать від волі людини, але істотно впливають на продуктивність та якість технологічних операцій.

Агрометеорологічні чинники (*Ам*): включають температуру, опади, вологість повітря, заморозки. Наприклад, перезволоження ґрунту унеможливорює вчасне проведення операцій і призводить до втрати врожаю. Природно-рельєфні (*Пр*): ухил поля, довжина гону, конфігурація ділянки, які впливають на витрати пального і навантаження на агрегати. Агрофонові (*Аф*): тип ґрунту, його щільність, залишки попередника, бур'яни. Від них залежить якість виконання таких операцій, як оранка, культивування, підгортання.

Технологічні та технічні чинники

Технологічні (*Тл*): стосуються вибору та черговості операцій – від підготовки ґрунту до зберігання врожаю. Наприклад, впровадження гребеневого способу садіння підвищує врожайність, але вимагає спеціалізованої техніки.

Технічні (*Тн*): це параметри машинно-тракторного агрегату: тип, ширина захвату, надійність, кількість операцій за один прохід. Наприклад, використання агрегатів зі збільшеною шириною захвату зменшує кількість проходів, знижує ущільнення ґрунту та витрати ПММ.

Суб'єктивні організаційні чинники

Організаційно-стратегічні (*Ос*): управлінські рішення власника чи керівника господарства – закупівля техніки, структура сівозміни, форми фінансування. Організаційно-тактичні (*От*): безпосередні дії працівника під час виконання робіт (наприклад, досвід тракториста, дотримання режиму глибини обробітку).

Суб'єктивна складова значно впливає на загальний результат, особливо в малих господарствах, де часто немає стандартизованих регламентів робіт.

Правильна класифікація дозволяє побудувати імітаційні або аналітичні моделі для оптимізації процесів. Наприклад, в дипломному дослідженні було розроблено узагальнений алгоритм математичної моделі процесу вирощування картоплі, що враховує всі зазначені групи чинників, що дозволяє мінімізувати питомі витрати і втрати врожаю [3, с. 91].

1. Комплексна класифікація чинників ефективності процесу вирощування картоплі забезпечує наукове підґрунтя для розробки моделей прийняття рішень.

2. Поділ на об'єктивні (агроекологічні, технічні, технологічні) та суб'єктивні (організаційні) чинники дозволяє гнучко адаптувати моделі до умов конкретного господарства.

3. Практична цінність систематизації полягає в можливості оптимізувати використання техніки, знизити втрати врожаю і підвищити рентабельність виробництва.

Список використаних джерел

1. Гарькавий А.Д., Петриченко В.Ф., Спірін А.В. Конкурентоспроможність технологій і машин: Навчальний посібник. – Вінниця: ВДАУ–“Тірас”, 2003. – 68 с.

2. Сидорчук О., Сенчук С. Інженерний менеджмент: системотехніка виробництва. Навчальний посібник. – Львів: Львів. ДАУ, 2006. – 127с.

3. Керівництво з питань проектного менеджменту: Пер. з англ.. / Під ред. С.Д. Бушуєва, – 2-е вид., перероб. – К.: Видавничий дім «Ділова Україна», 2000. – 198 с.

Богдан ПАСТУХ

Здобувач вищої освіти 2 курсу

ОС «Бакалавр» спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Микола БОРИС

канд. тех. Наук, доцент

Хмельницький національний університет

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ГИЧКИ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ

Розроблення нових високоефективних робочих органів для відокремлення гички, що знижують втрати цукроносної маси та підвищують робочі швидкості машин для відокремлення гички є актуальним науковим і виробничим завданням.

За своєю суттю процес відокремлення гички цукрових буряків є процес розділення двох складових рослини – гички і коренеплоду. Необхідною умовою розділення є різниця властивостей тіл. Аналізуючи сучасний рівень розвитку технологічного процесу та технічних засобів, можна виділити наступні способи відокремлення гички: копірний і безкопірний зрізи гички з доочищенням решток після зрізу та відокремлення гички динамічними взаємодіями за допомогою дефоліаторів – роторів з гнучкими робочими елементами. Всі способи зрізу ґрунтуються на різниці у розміщенні гички і коренеплоду відносно поверхні ґрунту та їх відносному розміщенні. Відокремлення решток гички після зрізу шляхом динамічної дії очисних елементів на головку коренеплоду ґрунтується на різній міцності головки та гички.

Вивчення різниці властивостей гички і коренеплоду, визначення їх впливу на процес розділення є основою для удосконалення процесу відокремлення гички від цукроносної маси, створення нових та удосконалення існуючих робочих органів.

Нами розглянуто будову, форму та міцність різних зон головки коренеплоду та гички з метою вивчення можливостей механічного руйнування гички і наступним її відокремленням від головки.

Порівняння твердості черешків та головки коренеплоду за допомогою розробленого твердоміра. Визначалась твердість головки коренеплоду у різних зонах розміщення зелених листків та твердість черешків на поверхні та у внутрішній частині на різній відстані від головки. Твердість внутрішньої частини визначали у напрямку перпендикулярному до площини поперечного перерізу. Характеристикою твердості у цьому випадку була величина деформації пружини твердоміра у міліметрах, при якій відбувалось проникнення ідентора у тіло гички чи головки коренеплоду. Для можливості порівняння твердості гички та головки коренеплоду попередній стиск пружини був однаковим в обох випадках. Твердість головки замірялась як на поверхні у різних зонах головки, так і у шарах цих зон глибиною до 15 мм. Встановлено, що максимальна твердість головки – у зоні зелених листків у шарі на глибині 5...10 мм, мінімальна – на вершині головки у шарі 0...5 мм. Твердість зони сплячих вічок менша від твердості зони зелених листків, але різниця є незначною. Твердість вершини головки значно відрізняється від твердості решти зон на глибині 0...10 мм, в меншій мірі – на глибині 10...15 мм. Твердість поверхні черешків біля основи майже рівняється твердості вершини головки і на 20...30% відрізняється від твердості поверхонь зон зелених листків і сплячих вічок. Але на відстані 20...30 мм від поверхні головки твердість поверхні черешків майже у два рази менша. Із збільшенням до 30...40 мм віддалі від поверхні головки коренеплоду твердість поверхні черешка знижується, а потім збільшується. Твердість внутрішньої частини черешків значно менша від твердості всіх зон головки.

При лабораторних дослідженнях процесу відокремлення решток гички спостерігалось легке відокремлення основної маси гички на відстані 20...30 мм від поверхні головки коренеплоду. Рідко відокремлювалась, а то й взагалі не відокремлювалась гичка на відстані меншій 10 мм. Такі показники якості легко пояснюються щільним упакуванням пучка гички біля головки та невеликою різницею у твердості гички і коренеплоду.

Досліджуючи окремі агрофізичні та механіко-технологічні властивості головки коренеплоду та гички встановлено, що твердість поверхні гички біля головки коренеплоду на 30-40% відрізняється від твердості головки коренеплоду у зонах зелених листків та сплячих вічок, і майже рівняється твердості вершини головки. Це свідчить про обмежені можливості розділення гички та коренеплоду за властивостями міцності без пошкодження тіла коренеплоду.

Покращення якості процесу можливе при значному збільшенні кількості менш інтенсивних взаємодій або навпаки за рахунок зменшення кількості взаємодій при збільшенні їх інтенсивності при використанні додаткових пристроїв, що зорієнтовують дію робочих елементів у зону зелених листків. При використанні жорстких високоефективних робочих органів необхідно синхронізувати частоту обертання ротора очисника та поступальну швидкість машини, тому що при високій частоті обертання валу очисника і малій поступальній швидкості можливе значне зростання пошкоджень коренеплодів.

Список використаних джерел

1. Борис М.М., М.М. Боднар Аналіз сучасних технологій та технічних засобів для видалення гички цукрових буряків, тенденції їх розвитку. Збірник наук. Праць “Механізація та електрифікація сільського господарства.” Вип.99. ННЦ ІМЕСГ, Глеваха, 2014. – с.136-145.
2. Булгаков А.М. Борис, М.М. Борис Дослідження розподілення висоти виступання головок коренеплодів над поверхнею ґрунту. Вісник аграрної науки, 2015. №5. С.41-44.

Анастасія ПОЛЩУК

доктор філософії,

асистент кафедри іноземних мов

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО НАВЧАННЯ АНГЛІЙСЬКОЇ МОВИ ПРОФЕСІЙНОГО СПРЯМУВАННЯ: ВІД РЕАЛІЙ ДО ПЕРСПЕКТИВ

Сучасна підготовка майбутніх фахівців неможлива без володіння іноземною мовою професійного спрямування (ESP – English for Specific Purposes), що забезпечує здатність до професійної комунікації, участі в міжнародних проєктах і доступу до фахових джерел інформації [1, с. 18]. Для закладів вищої освіти аграрного спрямування це особливо актуально, оскільки аграрна інженерія, біотехнології та сталий розвиток сільського господарства мають глобальний вимір.

Серед сучасних методичних рішень особливу ефективність демонструє підхід CLIL (Content and Language Integrated Learning), який поєднує вивчення мови та фахових дисциплін. В закладах вищої освіти елементи CLIL впроваджуються під час викладання модулів професійного спрямування, коли навчальні матеріали англійською мовою містять професійні тексти, стандарти ISO/ASABE та фрагменти технічної документації [2, с. 47]. Це дозволяє здобувачам не лише вдосконалювати мовні навички, а й засвоювати фахові лексичні одиниці у реальному контексті використання.

Важливим інноваційним напрямом є використання цифрових технологій у навчанні. Онлайн-платформи *Quizlet*, *Kahoot*, *Canva for Education* та інтерактивні середовища типу *Moodle* і *Microsoft Teams* забезпечують гейміфікацію процесу, швидкий зворотний зв'язок і можливість самоконтролю знань. Ефективним є також створення *мініпроєктів англійською мовою* з використанням відеопрезентацій та постерів, що сприяє розвитку навичок публічних виступів і міждисциплінарної співпраці [3, с. 36].

У практиці викладання позитивний результат дає командна робота здобувачів освіти над кейсами, пов'язаними з реальними виробничими ситуаціями: обговорення англomовних технічних інструкцій, аналіз аграрних інновацій ЄС, адаптація термінології стандартів *ASABE/ISO* [4]. Такий підхід забезпечує формування не лише мовної, а й професійно-аналітичної компетентності.

Отже, перспективи навчання англійської мови професійного спрямування полягають у поєднанні CLIL, цифрових технологій та проблемно-орієнтованого навчання. Їх системне впровадження створює умови для формування конкурентоспроможних фахівців аграрного профілю, готових до міжнародної комунікації та участі в інтегрованих наукових та освітніх проєктах.

Список використаних джерел

1. Балихін Г. Англійська мова професійного спрямування: методика навчання. Київ: Наукова думка, 2020. 124 с.
2. Сопова Д. Використання CLIL у викладанні англійської мови технічних спеціальностей. *Іноземні мови*, 2021. № 3. С. 45-52.
3. Терещенко Н. Сучасні тенденції у викладанні ESP у вищій школі. *Вища освіта України*, 2022. № 2. С. 33-40.
4. ASABE / ISO. International Standards in Agricultural Engineering and Mechanization: Overview of Publications and Specifications. – St. Joseph, MI: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2023. 215 p.

Анастасія ПОЛЩУК

доктор філософії,

асистент кафедри іноземних мов

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Zoia SHARLOVYCH,

кандидат педагогічних наук,

продекан з міжнародної співпраці

Міжнародна академія прикладних наук в Ломжі

РОЗВИТОК ПРОФЕСІЙНОЇ МАЙСТЕРНОСТІ ПЕДАГОГІВ У СИСТЕМІ ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ: ВІД ВИКЛИКІВ СЬОГОДЕННЯ ДО ПЕРСПЕКТИВ СТАЛОГО ПРОФЕСІЙНОГО ЗРОСТАННЯ

Сучасна система освіти України перебуває в стані глибоких структурних змін, спрямованих на забезпечення якості освіти, її відповідності вимогам часу та потребам особистості. У цьому контексті все більшої уваги набуває питання розвитку професійної майстерності педагогів, яке безпосередньо пов'язане з ефективністю реалізації державної освітньої політики та впровадженням компетентнісного підходу в освітній процес.

Післядипломна педагогічна освіта (ППО) сьогодні виконує не лише функцію формального підвищення кваліфікації, а й стає важливим простором для формування нових професійних та особистісних компетентностей педагогів. В умовах швидких соціокультурних змін та впровадження цифрових технологій виникає потреба в якісно новому підході до підготовки педагогічних кадрів, що передбачає не лише оновлення змісту, а й трансформацію форм та методів навчання [1, с. 45].

Професійна майстерність – це інтегрована характеристика особистості педагога, яка включає знання, уміння, ціннісні орієнтири, педагогічну рефлексію, готовність до інновацій та постійного професійного зростання [2].

Сучасний педагог має володіти не лише предметною та методичною компетентністю, але й здатністю до критичного мислення, роботи в цифровому середовищі, організації інклюзивного навчання, створення безпечного та мотивуючого освітнього простору.

У цьому контексті ППО повинна відповідати реаліям сьогодення, бути гнучкою, інноваційною, орієнтованою на запити педагогів та освітніх інституцій. Дослідження показують, що традиційні форми підвищення кваліфікації вже не відповідають очікуванням педагогів і не завжди сприяють реальному зростанню їхньої професійної майстерності [4, с. 127]. Водночас, все більшої популярності набувають такі інноваційні формати, як:

- коучинг і менторинг (індивідуальний супровід професійного розвитку);
- інтервізія (професійні обговорення у форматі «рівний-рівному»);
- педагогічні стартапи (розробка та апробація власних освітніх рішень);
- мікронавчання (microlearning) – короткі, сфокусовані модулі навчання, інтегровані в повсякденну професійну діяльність.

Одним із перспективних напрямів розвитку ППО є перехід від інформативного до трансформаційного навчання, коли педагог не лише здобуває нові знання, а й переосмислює власний досвід, змінює стиль професійного мислення, формує нову педагогічну ідентичність [3, с. 5].

Таким чином, науковий супровід післядипломної освіти має стати основою для системних змін у підходах до професійного розвитку педагогів. Наука і практика у цій сфері повинні взаємодіяти на рівних: наукові дослідження – задавати вектори розвитку, а педагогічна практика – формувати запит на зміни. Саме така взаємодія дозволить перетворити післядипломну освіту на інструмент не лише адаптації, а й проактивного впливу педагогів на якість освіти в Україні.

Отже, підсумовуючи вище сказане:

- Післядипломна освіта є ключовим елементом забезпечення безперервного професійного розвитку педагогів.
- Формування професійної майстерності потребує інноваційних підходів, інтеграції сучасних технологій та персоналізації навчання.

- Взаємозв'язок науки і практики є необхідною умовою створення ефективної системи професійного зростання педагогів у контексті викликів сьогодення.

Список використаних джерел

1. Гончаренко, С. У. (2021). *Післядипломна педагогічна освіта в умовах реформування системи освіти України*. Освітологічний дискурс, (1), 45-52.
2. Зязюн, І. А. (2019). *Філософія педагогічної дії: професійна майстерність як цінність*. Київ: Педагогічна думка.
3. Андрущенко, В. П. (2020). *Освіта і наука в умовах соціальних трансформацій*. Вища освіта України, (3), 5–14.
4. Кузьменко, В. М. (2022). *Інноваційні форми професійного розвитку педагогів у системі післядипломної освіти*. Проблеми освіти, (96), 127–134.

Володимир ПРИЩЕПА

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Василь САВЧЕНКО

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

ВИКОРИСТАННЯ ХОЛОДНИХ САМОРЕГУЛЮВАЛЬНИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ ДЛЯ НАНЕСЕННЯ ХРОМОВИХ ПОКРИТТІВ

На основі проведеного аналізу наукових робіт [1] було встановлено, що одними з перспективних електролітів для хромування є холодні саморегулювальні електроліти, які мають низку переваг. До їхніх основних переваг належать: висока продуктивність і розсіювальна здатність, покращення умов праці (через менше випаровування), а також зменшення викидів у навколишнє середовище завдяки низькій робочій температурі. Крім того, під час використання таких електролітів зменшується накопичення внутрішніх напружень, а отримане покриття характеризується меншою пористістю та тріщинуватістю. Це робить можливим застосування зазначених електролітів для відновлення деталей, що працюють в умовах гідроабразивного зношування.

Розглянемо деякі холодні електроліти хромування та порівняймо їх між собою, а також із універсальним (стандартним) електролітом, який є найпоширенішим у виробництві.

Холодний електроліт тетрахроматного типу був розроблений у Національному транспортному університеті для відновлення деталей автомобілів, тракторів, дорожньо-будівельної техніки та інших машин. Під час його використання можливо отримувати якісні тріщинуваті осадки з мікротвердістю 8300–9500 Мпа, при цьому вихід за струмом досягає 40%, а максимально можлива товщина якісного покриття становить 0,7 мм [2].

Даний електроліт не потребує підігріву, має високу покривну та розсіювальну здатність, і має такий склад, г/л: хромовий ангідрид – 350–400, сірчана кислота – 2,5–2,7, гідроксид натрію – 50–60.

Режими використання наступні: робоча температура електроліту 18–22 °С та катодна густина струму 10–80 А/дм². Дотримання цих режимів забезпечує отримання якісних осадів із високим виходом хрому за струмом – 30–35 %.

Ці покриття можна використовувати для відновлення деталей, де під час роботи необхідна постійна наявність мастила, наприклад, гільз циліндрів, шийок валів під підшипники тощо. При цьому зносостійкість таких покриттів є близькою за властивостями до хромових осадів, отриманих зі стандартного (універсального) електроліту.

Однак, обмеженнями використання цього електроліту у виробництві є такі причини:

- невеликий діапазон робочих температур (18–23 °С) – при підвищенні температури покриття стають крихкими та мають густу сітку мікротріщин;
- необхідність використання додаткового обладнання для охолодження електроліту (холодильних установок), що призводить до збільшення енергоспоживання;
- висока агресивність електролітного розчину.

Для вибору базового електроліту для проведення досліджень було проаналізовано наявні перспективні холодні саморегулювальні електроліти хромування.

У ННЦ «ІМЕСГ» було розроблено саморегулювальний електроліт хромування, що містить CrO₃ та добавку Chromispel-1. З метою підвищення виходу хрому за струмом до цього електроліту вводили у вигляді йонів такі добавки: сполуки ванадію (V), молібдену (Mo) та вольфраму (W). У результаті оптимальний склад електроліту мав такий вигляд: хромовий ангідрид у кількості 100–1000 г/л, йодна кислота – 10–350 г/л. Режими осадження використовувалися такі: густина струму 50–300 А/дм², робоча температура електроліту 18–25 °С.

Подальше збільшення густини струму призводило до різкого зменшення виходу за струмом. Однак при підвищенні густини струму понад 100 А/дм² через деякий час спостерігалось падіння напруги і, відповідно, зниження виходу за струмом. Це, ймовірно, було зумовлено утворенням на анодах омічної плівки, яка збільшувала електричний опір і, як наслідок, спричиняла падіння напруги.

Однак дослідження розроблених холодних саморегулювальних електролітів хромування дало змогу виділити холодний саморегулювальний електроліт хромування (ХСЕХ) (див. рис. 1). Даний електроліт характеризується високою продуктивністю осадження та високою розсіювальною здатністю, при цьому осадження відбувається в широкому діапазоні густин струму – від 75 до 300 А/дм². Крім того, цей електроліт має низьку агресивність розчину, що є його додатковою перевагою.

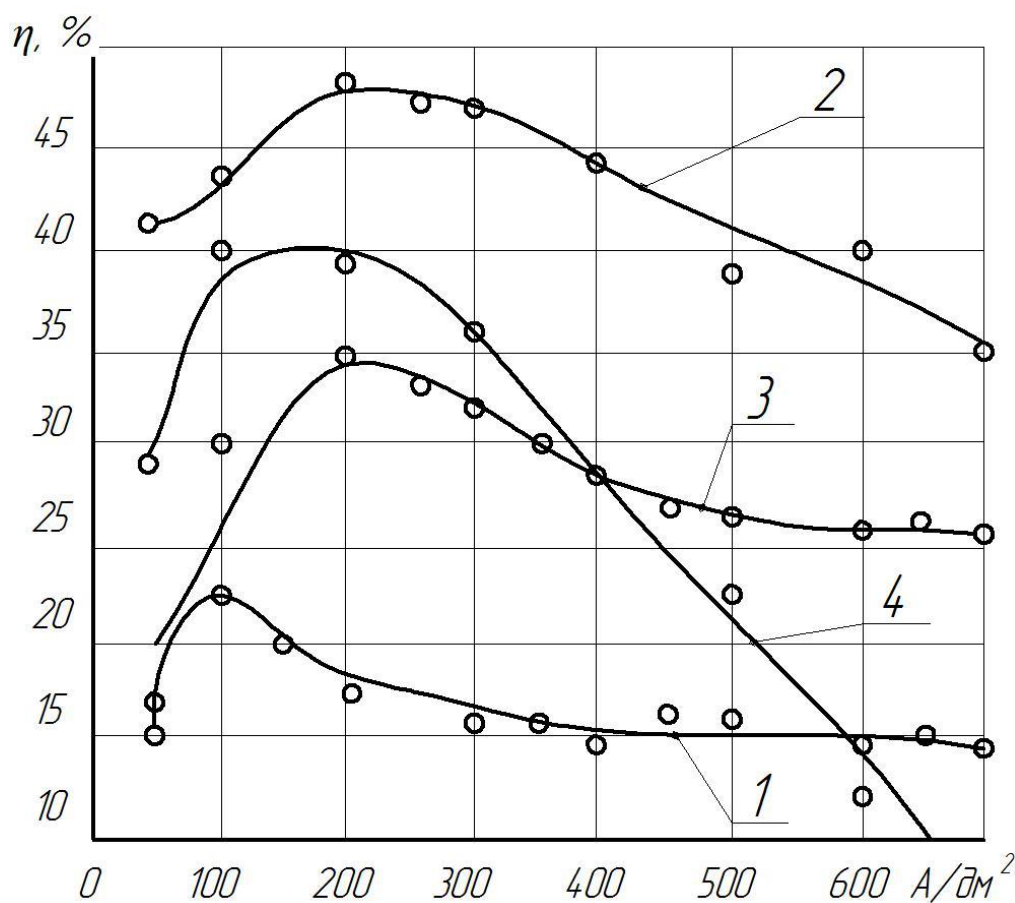


Рис. 1. Вплив катодної густини струму (А/дм²) на продуктивність процесу осадження (вихід хрому за струмом, %) в електролітах: 1 – сульфатно-кремнефторидний; 2 – Chromispel-1; 3 – універсальний; 4 – холодний саморегулювальний.

Цей розроблений електроліт був отриманий у результаті дослідження впливу неорганічної добавки – сульфату кобальту, внаслідок чого створено високопродуктивний холодний саморегулювальний електроліт хромування з йонами Co^{2+} наступного складу, г/л: хромовий ангідрид – 400–420, карбонат кальцію – 67–75, сульфат кобальту – 15–20. Робоча температура розчину перебувала в вузькому інтервалі – 18–23 °С. Вихід хрому за струмом становить $40 \pm 1\%$, швидкість осадження – 130–550 мкм/год, при мікротвердості осадів 8500–11500 Мпа.

Завдяки високим фізико-механічним властивостям і високій продуктивності цей електроліт став придатним для відновлення деталей автомобілів. Однак для деталей, що працюють в умовах гідроабразивного зношування, виникла певна проблема – наявність на поверхні шару невеликої кількості мікротріщин, що унеможливлювало використання цього електроліту для їх відновлення. Тому виникла необхідність проведення подальших досліджень щодо вдосконалення холодного саморегулювального електроліту хромування.

Список використаних джерел

1. Gugua E. C., Ujah C. O., Asadu C. O., Von Kallon D. V., Ekwueme B. N. Electroplating in the modern era, improvements and challenges: A review. Hybrid Advances. Volume 7, December 2024, 100286. <https://doi.org/10.1016/j.hybadv.2024.100286>.
2. Electroplating Engineering Handbook. Clanrye International. 2023. 244 p.

Дмитро СІЛЕЦЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Артем АНДРІЙЧУК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Максим ГРУНИЦЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Володимир КУЛИКІВСЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

ВЛАСТИВОСТІ ВОЛОГОЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ, ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Найбільшого поширення набули захисні склади для покриття фруктів і овочів, призначених для тривалого зберігання. Під час тривалого зберігання плодів і овочів відбуваються значні втрати біологічно активних речовин (вітамінів, ферментів, органічних кислот, мінеральних солей, вологи тощо) внаслідок перебігу на поверхні рослинної сировини мікробіологічних процесів, спричинених діяльністю грибів, бактерій, актиноміцетів і фітонематод. Мета обробки в цьому випадку полягає у зменшенні втрат фруктів і овочів під час тривалого зберігання, підвищенні їх якості завдяки скороченню втрат маси та збільшенню виходу повноцінної продукції. Це досягається створенням стабільного зовнішнього захисного шару певної товщини, який пригнічує розвиток мікрофлори на поверхні клітин рослинної сировини та знижує випаровування вологи [3].

Часто до складу такого покриття входить полівініловий спирт (ПВС) як зв'язувальний компонент, тобто як сополімер під час полімеризації залізовмісної поліакрилової кислоти (ЗПАК). Це дозволяє підвищити механічну міцність плівкового покриття та його ферментативну стабільність – здатність стабілізувати показники активності ферментів рослинної сировини щодо величини окисно-відновного потенціалу (окс/ред).

Аналіз дослідницьких робіт у цьому напрямі показав, що введення до складу понад 10% цієї речовини призводить до того, що покриття помітно поглинає вологу з повітря, що сприяє розвитку мікрофлори на поверхні продукції та, як наслідок її псуванню. Те саме може відбуватися і під час нанесення такого покриття на насіння після їх висіву: не виключена можливість руйнування нанесеної захисної оболонки внаслідок споживання вологи безпосередньо із насінини та подальшої втрати води насінням у сухому ґрунті [1].

Значна гігроскопічність покриттів плодоовочевої продукції ґрунтується також на їхніх бактерицидних властивостях. До таких покриттів належать різні біоконсервантні речовини, зокрема бактеріоцини. Бактеріоцини – це гетерогенні антибактеріальні комплекси, що відрізняються рівнем активності, спектром і механізмом дії, молекулярною масою, фізико-хімічними властивостями, проте основною біологічно активною складовою всіх бактеріоцинів є білковий компонент. Вважається, що бактеріоциногенія – явище, характерне практично для всіх видів бактерій. Говорячи про екологічне значення бактеріоцинів, необхідно зазначити, що синтез цих речовин відіграє головну роль у конкуренції всередині популяції. З інформації, наведеної в низці наукових статей відомо, що бактеріоцини рибосомно синтезуються як антимікробні сполуки, які продукуються різними видами бактерій.

Нині найкраще вивчені та класифіковані бактеріоцини штамів родів *Bacillus* і *Lactobacillus*. Слід зазначити, що антимікробна дія молочнокислих бактерій зумовлена також утворенням багатьох органічних кислот, таких як молочна, оцтова та пропіонова, які є кінцевими продуктами їхнього метаболізму. Ці кислоти створюють кисле середовище, несприятливе для росту багатьох патогенних і шкідливих мікроорганізмів. Кислоти проявляють антимікробний ефект, впливаючи

на підтримання потенціалу клітинної мембрани, перешкоджаючи активному транспорту речовин, знижуючи внутрішньоклітинний pH та інгібуючи різні метаболічні функції. Вони мають дуже широкий спектр дії та пригнічують розвиток як грампозитивних, так і грамнегативних бактерій, а також дріжджів і плісняви. Хорошим прикладом є пропіонова кислота, яка чинить антимікробну дію проти різних мікроорганізмів, зокрема дріжджів і плісняви. Вона утворюється пропіоновокислими бактеріями, на основі яких здійснюється біоконсервування деяких продуктів. Окрім кислот, стартові культури можуть продукувати низку інших антимікробних метаболітів, таких як етанол (за гетероферментативним шляхом, який активується під час аеробного росту) та діацетил, що утворюється з надлишку пірувату, отриманого з цитрату [2].

Бактеріюцини проявляють досить високу антагоністичну активність і є найбільш перспективними для виробництва біоконсервантів, призначених для подовження термінів зберігання свіжих фруктів і овочів. Однак вони мають гідрофобну природу і не можуть використовуватися у складі матеріалу вологозахисного покриття для насіння зернових культур. Водночас не виключається можливість їх застосування у складі сумішей захисно-стимулюючих препаратів, що вводяться в насіння на завершальному етапі їх насичення вологою перед висівом.

Наразі отримали розвиток і практичне застосування покриття з екологічно безпечних синтетичних полімерів (каучуків, сополімерів вініліденхлориду, вінілацетату у формі водних дисперсій), які формуються на різних харчових продуктах. Зазначені покриття дають змогу забезпечити цілеспрямоване регулювання масообмінних і біохімічних процесів та зрештою отримати продукцію високої якості при одночасному зниженні втрат цінного білкового продукту й економії трудових витрат на догляд за ним. Однак їхні властивості вивчені недостатньо, що не дозволяє сформулювати конкретні рекомендації щодо використання таких покриттів для вологозахисту насиченого водою насіння.

Найбільшого поширення набув віск, який використовується для покриття різних сільськогосподарських продуктів. Віск – це назва, що застосовується для позначення групи жироподібних твердих речовин природного або синтетичного

походження. За своєю хімічною природою це як правило складні ефіри вищих одноосновних жирних кислот і вищих одноатомних жирних спиртів, тоді як копалінові воски (викопного походження) являють собою насичені вуглеводні.

У виробництві захисних покриттів у всьому світі використовують [1]:

тваринні воски – бджолиний, спермацетовий (жироподібна речовина з порожнин голови кашалотів), шеллачний та воски комах;

рослинні воски – карнаубський (отримують із пальмового дерева), канделільський (виробляється з різновидів сукулентів, що ростуть у Мексиці та США), віск із цукрової тростини, пальмовий віск (із воскових пальм Колумбії), японський віск (одержується під час пресування насіння рослин);

мінеральні та синтетичні воски – озокерит, гірський віск, синтетичний віск із продуктів нафтопереробки, а також синтетичні матеріали у вигляді поліетилену та ефірів.

Властивості воску насамперед залежать від молекулярної структури, а не від молекулярного розміру чи хімічної будови. Віск плавиться в широкому діапазоні температур – від 40 до 90 °С.

Усі види восків використовуються для подібних цілей: виготовлення свічок, кольорових олівців, полірувальних засобів, косметичних продуктів, кондитерських виробів, жувальної гумки, а також для надання водовідштовхувальних властивостей. Зазвичай воски змішують для отримання необхідних характеристик. Усе це визначає можливість використання воску в технології покриття насиченого вологою насіння з метою захисту вологи в ньому від втрат у пересушений ґрунт після висіву.

Широкого застосування набули також парафіни – продукти переробки нафти. Товарний очищений парафін поділяють на три основні сорти за температурою плавлення: 48–49°C, 50–51°C та 54–56°C. Він стійкий до дії тепла, світла й повітря.

Таким чином, найдоцільніше використовувати як вологозахисне покриття для насіння різні воски та парафіни, що мають достатньо низьку температуру плавлення, оскільки це дозволяє гарантувати захист зародка насінини від перегріву.

Список використаних джерел

1. Jose S. A., Lapierre Z., Williams T., Hope C., Jardin T., Rodriguez R., Menezes P. L. Wear- and Corrosion-Resistant Coatings for Extreme Environments: Advances, Challenges, and Future Perspectives. *Coatings* 2025, 15(8), 878; <https://doi.org/10.3390/coatings15080878>.
2. Saikia M., Dutta T., Jadhav N., Kalita D. J. Insights into the Development of Corrosion Protection Coatings. *Polymers* 2025, 17, 1548. <https://doi.org/10.3390/polym17111548>.

Мирослав СТЕЧИШИН

докт. Техн. Наук, професор

Наталія МАШОВЕЦЬ

канд. техн. Наук, доцент

Світлана ПІДГАЙЧУК

канд. техн. Наук, доцент

Антон КОРИННИЙ

аспірант 3 року навчання

спеціальності 131 Прикладна механіка

Хмельницький національний університет

ОЦІНКА УМОВ УТВОРЕННЯ НІТРИДІВ НА ТИТАНОВИХ СПЛАВАХ ПРИ АЗОТУВАННІ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Титан та його сплави завдяки ряду важливих характеристик (високій відносній міцності, корозійній стійкості, малій питомій вазі тощо) мають широке застосування в багатьох галузях промисловості, зокрема, в авіабудуванні, хімічній та медичній галузях тощо. Їх популярність зумовлена унікальним поєднанням властивостей: високим відношенням міцності до густини, корозійною стійкістю, біосумісністю. Водночас існують обмеження, пов'язані зі схильністю титану до контактного схоплювання та низькою зносостійкістю у вузлах тертя. Це створює потребу у модифікації поверхневих шарів з метою підвищення трибологічних та механічних характеристик. Серед існуючих методів поверхневої інженерії перспективним є низькотемпературне безводневе **азотування в тліючому розряді (БАТР)**, яке дозволяє формувати нітридні та дифузійні шари з керованою структурою і властивостями. Основні результати по розробці наукових основ промислових технологій та устаткування для здійснення процесу азотування та основи теорії і практики безводневого азотування в тліючому розряді розроблені В.Г Каплуном та І.М Пастухом [1, 2]. Застосування азотування в тліючому розряді для модифікації поверхні титанових сплавів актуальне, оскільки дозволяє збільшити швидкість

азотування в 10...15 разів у порівнянні з традиційним пічним азотуванням, а також скорочує енергетичні, матеріальні та інші ресурси [3].

Метою даної роботи є **поєднання експериментальних досліджень впливу параметрів низькотемпературного БАТР на фізико-механічні характеристики титанових сплавів із теоретичним енергетичним моделюванням процесів формування нітридів**, що дозволяє запропонувати комплексний підхід до оптимізації процесу поверхневої модифікації.

Титанові сплави володіють високою корозійною стійкістю як до, так і після азотування в тліючому розряді [4,5]. Показано, що після високотемпературного азотування, корозійна стійкість титанових сплавів, оброблених в середовищі нерозбавленого азоту, вище, ніж сплавів азотованих у суміші азоту з аргоном. Корозійна стійкість шару Ti_2N більша ніж шару TiN . Товщина нітридного шару при $700^{\circ}C$ досягала до 0,5 мкм, а при $900^{\circ}C$ до 6 мкм, причому, за даними рентгеноструктурного аналізу було показано, що лише при $900^{\circ}C$ з'являється фаза TiN . Проте, поверхнева нітридна фаза TiN розчиняється з часом в азотній кислоті швидше за Ti_2N [6].

Низькотемпературне БАТР титанових сплавів проводилось на експериментальній установці УАТР-1 для хіміко-термічної обробки конструктивних елементів в плазмі тліючого розряду [7]. Проведені дослідження мікроструктури титанового сплаву ВТ8 при за різними режимами технологічних параметрів процесу варіювались в таких межах: температура в межах $540 - 700^{\circ}C$, тиск – 80- 400 Па, час – 20-240 хв, вміст аргону – 0-96 %. Дослідження показали, що при температурах $540^{\circ}C$, $580^{\circ}C$ і $620^{\circ}C$ в структурі сплаву ВТ8 значних змін не відбувається. При температурах $700^{\circ}C$ в титанових сплавах відбувається зміна кристалічної решітки. Доведено, що при **низькотемпературному БАТР в інтервалі $500-700^{\circ}C$** вдається уникнути росту зерна та крихкості, характерної для високотемпературної обробки. Введення аргону зменшує градієнт концентрації азоту і сприяє глибшому проникненню атомів у кристалічну решітку. Утворення тонкої $\delta-TiN$ плівки та ϵ -фаз дозволяє отримати високі значення мікротвердості (до 10–12 ГПа) [8].

Модифікація титанових сплавів азотуванням у тліючому розряді включає утворення нітридних структур, дифузійних шарів та розпорошення поверхні.

Для прогнозування структури модифікованого шару залежно від технологічних параметрів застосовано енергетичну модель процесу, яка визначає первинність формування нітридів або дифузійних шарів залежно від умов (склад газового середовища, тиск, температура, напруга, густина струму) [9,10]. Для опису процесів використано систему **відносних енергетичних факторів (ВЕФ)**, які відображають утворення нітридів та розпорошувальну дію газових середовищ. Встановлено, що оптимальні технологічні параметри відповідають мінімуму питомої потужності розряду, що забезпечує гармонійне співвідношення атомарної та молекулярної складових ВЕФ. Металографічні дослідження сплавів BT1-0, BT8, BT3-1, BT14, BT19-1, BT20 підтвердили кореляцію між розрахованими ВЕФ та реальною товщиною нітридних шарів. Найбільшу здатність до азотування показали сплави **BT8, BT3-1 та BT19-1**, де мікротвердість зростала у 1,5–1,7 рази після обробки. Оптимальне газове середовище: **75% N₂ + 25%Ar** – забезпечує максимальну товщину нітридного шару. При збільшенні вмісту аргону (10% N₂ + 90% Ar) спостерігається тонкий шар нітридів і розвиток дифузійної зони. Аналіз дослідження з використанням енергетичної моделі показав, що ВЕФ можуть бути використані як **аналітичні критерії для прогнозування результатів азотування та оптимізації режимів прогнозування структури модифікованого шару** залежно від технологічних параметрів, що дає можливість проєктування процесів модифікації поверхні титану під задані експлуатаційні умови виробів.

Поєднання експериментальних даних та енергетичних моделей показало високу узгодженість умов, що забезпечували максимальну мікротвердість, які відповідали зонам підвищених значень енергетичного критерію. При низьких температурах (540–600 °C) формуються тонкі дифузійні шари без чіткої межі з основою. При 660–700 °C формується багатошарова структура (TiN δ-фаза, ε-фази, тверді розчини). Введення аргону до 25–30% забезпечує кращий контроль процесу.

Список використаних джерел

7. Пастух І.М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. 364 с.
2. Каплун В. Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах: дис. ...док. Техн. Наук: 05.02.01. Хмельницкий, 1992. 450 с.
3. Пастух І. М. Фізико-технічна обробка поверхні металів безводневим азотуванням в тліючому розряді: дис. ... док. Тех. Наук : 05.03.07. Київ, 2008. 520 с.
4. Gokul Lakshmi S., Raman V., Rajendran N., Babi M. A. K., Avivuoli D. In vitro corrosion Ti-6Al-7Nb orthopedic alloy in Hanks solution. *Science and Technology of Advanced Materials*. 2003. Vol. 4 (5). P. 415–418.
5. Машовець Н.С., Корінний А.В., Банашко Т.Г. Підвищення корозійно-механічної зносостійкості титанових сплавів азотуванням в тліючому розряді: огляд сучасних досліджень / *Вісник ХНУ: Технічні науки*. – 2024. - №1. – с. 409-414.
6. Mashovets N.S., Pastukh I.M., Voloshko S.M. Aspects of the practical application of titanium alloys after low temperature nitriding glow discharge in hydrogen-free -gas media / *Applied Surface Science* 392 (2017) 356–361
7. Пат. 22650А. Украина. Спосіб іонного азотування азотоактивних металів / В.Г. Каплун, І.М. Пастух. Бюл. №2, 1998.
8. Mashovets N.S. Analysis of the influence of nitriding in a glow discharge on the properties of a titanium alloy / *Problems of Tribology*, 24 (3/93) (2019) 39-44
9. Пастух І.М. Машовець Н.С. Енергетичні спектри при азотуванні титану в тліючому розряді / *Вісник Хмельницького Національного Університету* . -№4 . – 2009. – с.18-22.
10. Пастух І.М. Машовець Н.С. Енергообмін на межі метал-газ при азотуванні титанових сплавів в тліючому розряді / *Вісник Хмельницького Національного Університету*. -№5. – 2009. – с.15-19.

TRANSLATING INNOVATION: CULTURAL PERSPECTIVES ON COMMUNICATING SCIENCE AND TECHNOLOGY

Abstract. The global circulation of scientific knowledge and technological innovation increasingly depends on effective communication across cultural and linguistic boundaries. This paper reviews the growing body of literature on cross-cultural communication in science and technology, with a focus on how cultural frameworks shape the interpretation, translation, and dissemination of knowledge.

Drawing on research from science and technology studies (STS), intercultural communication, and translation studies, the review identifies three key themes: the role of language and metaphor in framing innovation for diverse audiences, the impact of cultural values and norms on the perception of authority, credibility, and risk in science communication, and the challenges of adapting technical discourse to culturally specific modes of understanding without distorting meaning. The paper also highlights emerging approaches such as participatory models of science communication and culturally responsive translation strategies, which aim to democratize access to scientific knowledge.

By synthesizing findings from different disciplinary perspectives, this review argues that translating innovation is not merely a linguistic act but a cultural negotiation that influences how technologies are adopted, resisted, or reinterpreted worldwide. The implications point toward the need for intercultural competence among scientists, communicators, and policy makers to ensure that scientific and technological advances contribute equitably to global societies.

Introduction. Effective science communication is vital for global innovation, as scientific knowledge only reaches its full potential when understood by diverse communities worldwide [1; 2]. Since science communication isn't culturally neutral and reflects the creators' inherent perspectives [1], the concept of "translation" extends beyond literal language conversion to serve as a broad metaphor for adapting and negotiating

scientific ideas to be locally meaningful [3; 4]. This dual challenge requires an interdisciplinary approach drawing on Science and Technology Studies (STS), which examines how knowledge is socially circulated [5]; intercultural communication, which bridges cultural differences; and translation studies, which addresses conveying meaning across contexts [6]. The literature, however, remains fragmented [7; 4], prompting the need for a unified framework that treats translation as both cultural adaptation and knowledge exchange to explore strategies for effective global innovation.

Theoretical Foundation. This section establishes a comprehensive theoretical foundation for understanding the translation of innovation by integrating insights from three key fields: Science and Technology Studies (STS), major intercultural communication theories (Hofstede, Hall, Ting-Toomey), and translation studies (equivalence, domestication vs. foreignization). Collectively, these frameworks allow “translation” to be conceptualized not just as a linguistic transfer but as a deeper cultural adaptation. The core contribution of STS is its view that scientific knowledge isn’t isolated or universally true, but is socially constructed and circulates through communities and networks [8]. This perspective highlights that as knowledge travels, it must be actively communicated, interpreted, and often transformed to fit new cultural or social settings [9].

STS emphasizes that the global movement of knowledge is a process of social negotiation and contextualization, not an automatic transfer. James Secord [9] specifically argues that focusing on the “circulation of knowledge”—the pathways through which ideas spread via texts and people—is crucial for understanding how knowledge is accepted or modified locally. Concepts like actor-network theory reinforce this by using the term “translation” to describe how technical ideas are adapted to align with various actors’ interests [5]. Similarly, Bruno Latour [10] illustrated that for scientific facts to travel successfully from the lab to the public, they must be converted into “immutable mobiles”: stable, communicable forms that can be easily transported and understood across diverse contexts. Therefore, STS provides a crucial baseline for the argument that conveying knowledge across cultural boundaries inherently involves a process of metaphorical translation and adaptation to new social worlds.

Intercultural communication theories, viewing translation as cultural adaptation, provide essential frameworks for understanding how cultural norms shape message encoding and interpretation. Foundational models like Hofstede's Cultural Dimensions Theory identify key value differences, such as individualism vs. collectivism and power distance [11], which determine communication style. Simultaneously, Edward T. Hall's High- vs. Low-Context Communication [12] distinguishes cultures based on their reliance on explicit words (low-context) versus implicit cues and shared understanding (high-context). Further, Stella Ting-Toomey's Face-Negotiation Theory explains how cultures manage conflict and preserve "face" (public self-image), noting that individualistic cultures prioritize self-face and directness, while collectivistic cultures prioritize others' face and harmony, often using indirect communication [13]. Collectively, these theories demonstrate that successful cross-cultural message transfer requires extensive cultural patterning and significant reformulation to adhere to local norms, ensuring the intended meaning is effectively conveyed.

Translation Studies has evolved from a purely linguistic view to one emphasizing cultural negotiation, offering three critical concepts for transferring meaning. The first is Equivalence, which refers to how faithfully a translated text reproduces the source text's meaning or effect. Early distinctions were made between formal equivalence (literal accuracy) and dynamic equivalence (conveying the same meaning/effect) [14]. Today, equivalence is seen as a spectrum where the translator actively balances fidelity to the source with clarity for the target audience [15]. Second, the choice between Domestication vs. Foreignization [16] describes a cultural strategy: domestication adapts the text to feel familiar to the target culture, while foreignization preserves source-culture elements, forcing the reader to encounter the foreignness. This spectrum highlights that translation involves not just linguistic but profound ethical and cultural decisions about how much adaptation is necessary.

The third essential concept is the shift of the translator's role to an active cultural mediator [17]. This role goes beyond word substitution; it requires interpreting and bridging differences in values, social norms, and worldviews to ensure the message achieves its communicative purpose. This aligns with the broader conceptualization of

“translation” as the adaptation of knowledge and meaning across cultural boundaries, recognizing that content must be made intelligible and relevant to new audiences. Drawing on STS perspectives [8; 9], the necessity for cultural adaptation occurs whenever knowledge is “in transit” globally, such as tailoring a global health recommendation to local practices. Ultimately, as Susan Bassnett [6] noted, “language is the heart of culture,” confirming that translators must actively engage in cultural re-creation to find functional equivalents, making cultural context the guiding principle behind strategic choices like domestication or foreignization [14; 16].

Conclusions. In summary, translation in the area of science and technology is far more than a technical linguistic exercise; it is an act of intercultural communication and adaptation. By leveraging frameworks from STS, intercultural communication theories, and translation studies we find and refine the tools and concepts to navigate subtle differences – whether through finding the right equivalences, choosing a domesticating or foreignizing approach, or consciously mediating cultural content. All these theoretical foundations converge on a common idea: successful translation (in any domain) requires sensitivity to cultural contexts and a willingness to modify and interpret meaning for the benefit of the target audience. This theoretical understanding sets the stage for analyzing practical cases of knowledge translation and cross-cultural exchange in the rest of the address.

List of sources used

1. Medin D.L., Bang M. The cultural side of science communication. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014. Vol. 111. Suppl. 4. P. 13621–13626. DOI: 10.1073/pnas.1317510111.
2. Phogat P, Rab S, Wan M. Science communication in the digital age: Trends, gaps, and interdisciplinary opportunities. *Information Services and Use*. 2025;45(1-2):148-163. Doi:10.1177/18758789251342896
3. Olohan, M. (2018). A Practice-Theory Analysis of Scientific Editing by Translators. *Alif: Journal of Comparative Poetics*, (38), 298-328. <https://www.jstor.org/stable/26496378>

4. Reyes-Galindo L., Duarte I. Intercultural communication and science and technology studies: edited by L. I. Reyes-Galindo and T. R. Duarte, New York, Palgrave-Macmillan, 2017, 238 pp., DOI: [10.1080/25729861.2021.1907906](https://doi.org/10.1080/25729861.2021.1907906)
5. Callon M. Some elements of a sociology of translation: Domestication of the scallops and the fishermen of St. Brieuc Bay. *Power, Action and Belief: A New Sociology of Knowledge?* Ed. J. Law. Routledge & Kegan Paul. 1986. P. 196–233.
6. Bassnett S. *Translation Studies*. 4th ed. Routledge. 2014.
7. Borst, R. A., Wehrens, R., Bal, R. Sustaining Knowledge Translation Practices: A Critical Interpretive Synthesis. *International Journal of Health Policy and Management*, 2022; 11(12): 2793-2804. Doi: [10.34172/ijhpm.2022.6424](https://doi.org/10.34172/ijhpm.2022.6424)
8. Sismondo S. *An Introduction to Science and Technology Studies*. 2nd ed. Chichester, UK: Wiley-Blackwell. 2010.
9. Secord J.A. Knowledge in transit. *Isis*. 2004. Vol. 95. No. 4. P. 654–672. DOI: [10.1086/430657](https://doi.org/10.1086/430657).
10. Latour B. *Science in Action: How to Follow Scientists and Engineers through Society*. Cambridge, MA: Harvard University Press. 1987.
11. Hofstede G., Hofstede G.J., Minkov M. *Cultures and Organizations: Software of the Mind*. 3rd ed. New York, NY: McGraw-Hill. 2010.
12. Hall E.T. *Beyond Culture*. Garden City, NY: Anchor Press. 1976.
13. Ting-Toomey S., Kurogi A. Facework competence in intercultural conflict: An updated face-negotiation theory. *International Journal of Intercultural Relations*. 1998. Vol. 22. No. 2. P. 187–225. DOI: [10.1016/S0147-1767\(98\)00004-2](https://doi.org/10.1016/S0147-1767(98)00004-2).
14. Nida E.A. *Toward a Science of Translating*. Leiden, Netherlands: E.J. Brill. 1964.
15. Munday J., Ramos Pinto S., Blakesley J. *Introducing Translation Studies: Theories and Applications*. 5th ed. Routledge. 2022.
16. Venuti L. *The Translator's Invisibility: A History of Translation*. 2nd ed. London, UK: Routledge. 2017.
17. Bedeker L., Feinauer I. The translator as cultural mediator. *Southern African Linguistics and Applied Language Studies*. 2006. Vol. 24. No. 2. P. 133–141. DOI: [10.2989/16073610609486412](https://doi.org/10.2989/16073610609486412).

Сергій ЧЕРЕДНИК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Олександр КУСКОСЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Іван ГРАБАР

д-р. техн. Наук, професор

Поліський національний університет, м. Житомир

СПОСОБИ ТА ЗАСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ ЗНЕЗАРАЖЕННЯ ЗЕРНА

Зернові культури становлять невід’ємну частину щоденного раціону 2,34 млн т [1]. На частку пшеничного та пшенично-житнього борошна припадає 93 %.

Технологія виробництва борошна є досить складною і потребує значних капіталовкладень. Технологічні процеси підготовки зерна до помелу мають вирішальне значення для отримання якісного борошна. Поряд із великими виробниками, в Україні переробкою зерна займаються також малі підприємства та фермерські господарства.

Борошномельна промисловість України забезпечує потреби населення у необхідних обсягах, однак її ефективному розвитку перешкоджають низький рівень технічного оснащення та технологічна відсталість багатьох млинів [1].

Для суттєвого розвитку кормової та харчової промисловості потрібні інноваційні підходи та рішення, спрямовані на модернізацію технологічного обладнання і вдосконалення виробництва як цілісної системи.

Зерно схильне до зараження пліснявими грибами та шкідниками хлібних запасів, що є серйозною проблемою у кормовиробництві та харчовій промисловості. Ураження зерна мікотоксинами пліснявих грибів може призвести до отруєнь і навіть летальних випадків при значній концентрації. Комахи-шкідники зерна погіршують

його хлібопекарські властивості, знижують масу, сприяють розвитку патогенної мікрофлори та викликають саморозігрівання зерна, що призводить до його псування й необхідності утилізації.

Усім відома так звана “картопляна хвороба” хліба, яка виникає внаслідок діяльності спороутворювальних термофільних бактерій *Bacillus subtilis*. Вони у великій кількості присутні на рослинах і в ґрунті, тому їхні спори потрапляють у борошно. Цей процес необхідно усувати на ранньому етапі – ще до помелу зерна.

Причиною глобального поширення шкідників є широке вирощування нестійких сортів пшениці.

Особливо за останні 50 років спостерігається значне збільшення чисельності шкідливої черепашки. Також фіксується зростання кількості захворювань рослин, спричинених ураженням пліснявими грибами, які є продуцентами мікотоксинів – дезоксиніваленолу, ніваленолу, зеараленону, афлатоксинів, охратоксинів та інших.

Основними джерелами зараження зерна і зернопродуктів є незезаражені сховища, приймальні майданчики, території біля складів, зерноочисні машини й механізми, тара, інвентар та транспортні засоби, а також заражене зерно, що надходить від виробників.

Зерно надходить на помел із високим рівнем зараженості ($5 \cdot 10^6 \dots 8 \cdot 10^8$ КУО/г). Суха очистка зерна під час зберігання та підготовки до помелу лише незначно знижує рівень зараження шляхом видалення оболонки, однак при подальшому зволоженні та взаємодії з водою відбувається повторне зараження здорових зерен, тому зниження обсіменіння мікроорганізмами практично не спостерігається.

Серед способів біологічного знешкодження мікотоксинів відомі ферментативні методи, при яких ферменти каталізують природні процеси деструкції мікотоксинів. Ці процеси відбуваються в умовах, сприятливих для доквілля, і не потребують підвищених температур, тиску, а також використання агресивних лужних чи кислотних реагентів і розчинників.

Ефективність способів біологічного знешкодження мікотоксинів, заснованих на ферментативних окисних процесах, є відносно високою. Швидкість розкладання

мікотоксинів становить близько 5,85 мг/л/год. Однак ці методи мають низку суттєвих недоліків: нестабільність використовуваних ферментів; необхідність дотримання спеціальних умов їх зберігання; потреба у використанні додаткових дорогих редокс-медіаторів; необхідність підтримання підвищеної концентрації кисню у середовищах, що містять мікотоксини, тощо. Проте головний недолік полягає в тому, що в результаті застосування таких окисних ферментативних способів утворюються нові сполуки, які є не менш, а іноді навіть більш токсичними, ніж вихідні токсини.

Також існують методи обробки зерна перед закладанням на зберігання з використанням органічних консервантів – пропіонової кислоти з додаванням хітозану, а також суміші пропіонової кислоти з калієм сорбату. Проте застосування хімічних речовин у продуктах харчування є неприпустимим, оскільки всі ці сполуки переходять у кінцевий продукт.

Недоліком таких методів є також те, що при тривалому споживанні тваринами кормів, оброблених подібними консервантами, існує висока ймовірність виникнення хімічних опіків стравоходу та шлунка. Через підвищений вміст пропіонової кислоти зерно втрачає схожість і набуває кислого присмаку.

Наразі відомо чимало способів знешкодження мікотоксинів, але жоден із них не має оптимальної ефективності та супроводжується значною кількістю недоліків. Тому доцільніше не боротися з наслідками діяльності пліснявих грибів, а запобігати їх розвитку.

Існує також спосіб знезараження зернової сировини, що передбачає зволоження зерна, його обробку у водному середовищі в акустичному полі з широким спектром частот при кавітаційно-пороговому значенні звукового тиску, який створюється гідроакустичним випромінювачем, із одночасним диспергуванням у середовищі повітря, що подається імпульсно в резонаторні камери випромінювача. Недоліком цього способу є те, що зменшення кількості пліснявих грибів становить лише близько 80 %, що не вирішує проблему усунення токсичності. Висока інтенсивність ультразвукових хвиль (4 Вт/см²) порушує структуру зерна та його оболонку, що ускладнює збереження властивостей під час зберігання.

Існує спосіб деконтамінації сільськогосподарських кормів, забруднених мікотоксинами, шляхом їх попередньої обробки активованим розчином перед процесом екструдування корму. Як активований розчин використовують рідину, отриману на установці типу СТЕЛ при густині струму $0,06\text{--}0,15\text{ А/см}^2$, напрузі 40–50 В, швидкості потоку католіту й аноліту 2,8–4,5 л/год, яка містить 4,0–5,0 г/л NaCl і 0,3–0,7 г/л гліцину, з показниками кислотності 2,0–3,0 рН.

Недоліком цього способу є те, що будова зернівки (зокрема наявність у ній остюка та борозенки) ускладнює очищення зерна від пліснявих грибів, і тому статична обробка лише анолітом є недостатньо ефективною.

Існує пристрій для знезараження зерна у складі зерно- та насінноочисного агрегату, який містить модуль СВЧ-обробки, встановлений на виході зернового потоку із зерноочисної машини.

Недоліком СВЧ-обробки є використання підвищеної температури, що призводить до денатурації білка та негативно впливає на якісні характеристики зерна і його білкову цінність.

Відомі також технології та технічні засоби знезараження зерна в електростатичному полі.

Пристрій для знезараження зерна в електростатичному полі (рис. 1) містить корпус із генератором високої напруги 5. Оброблюваний продукт подається шнеками, виконаними у вигляді електропровідного стрижня 1 з діелектричними лопатками 2, розташованими по гвинтовій лінії. Разом із металевим корпусом, який виконує роль екрана, вони утворюють високовольтну пару електродів, що формують в об'ємі корпусу електростатичне поле. Пристрій також оснащений вібратором 6, який забезпечує можливість обробки зерна різного ступеня вологості.

Недоліком цієї технології є те, що під час обробки в електростатичному полі відбувається стимуляція зерен до проростання, тому такий спосіб доцільно застосовувати лише під час передпосівної обробки зерна.

Відомі також способи ультрафіолетового знезараження зерна. Проте для успішного проведення процесу необхідно подавати зерно тонким шаром, проникним для УФ-випромінювання, що потребує значних витрат часу.

Існує пристрій для охолодження зерна, який забезпечує вакуумне холодильне зберігання. Однак цей пристрій не знезаражує зерно, а лише на короткий час пригальмовує розвиток мікроорганізмів.

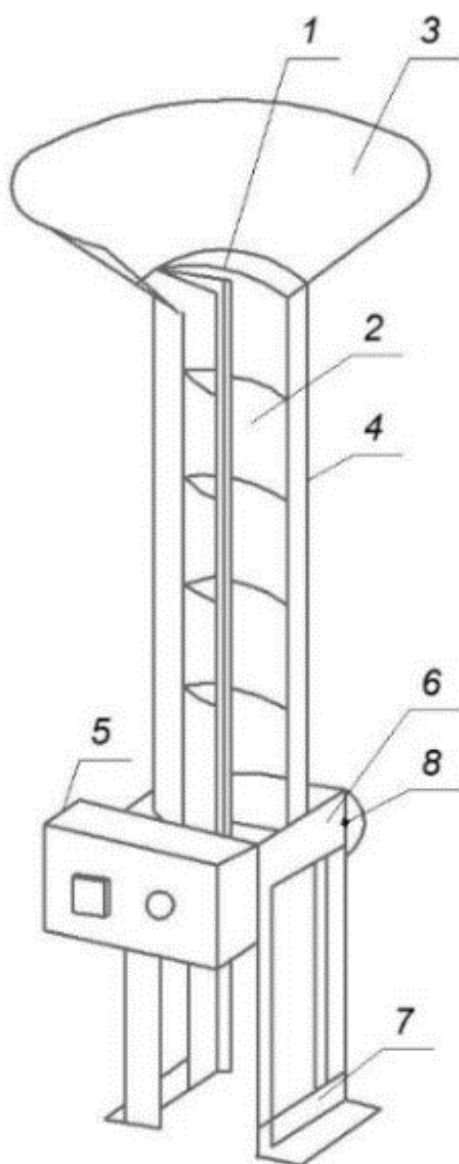


Рис. 1. Пристрій для знезараження зерна: 1 – електропровідний стрижень; 2 – діелектричні лопатки; 3 – завантажувальний бункер; 4 – циліндрична труба; 5 – генератор високої напруги; 6 – корпус; 7 – кріплення; 8 – вібратор.

У деяких країнах для знезараження зерна застосовують невеликі дози радіоактивного іонізуючого гамма-випромінювання. Використання такої технології передбачає високотехнологічне виробництво та значні фінансові витрати. При

цьому і виробництво, і сировина стають радіоактивними, тому для застосування цієї технології необхідно отримати спеціальний дозвіл.

Відоме також пристосування для гідратації біополімерів. Воно призначене для обробки зерна, насіння, плодів та іншої біомаси перед закладанням на зберігання (рис. 2).

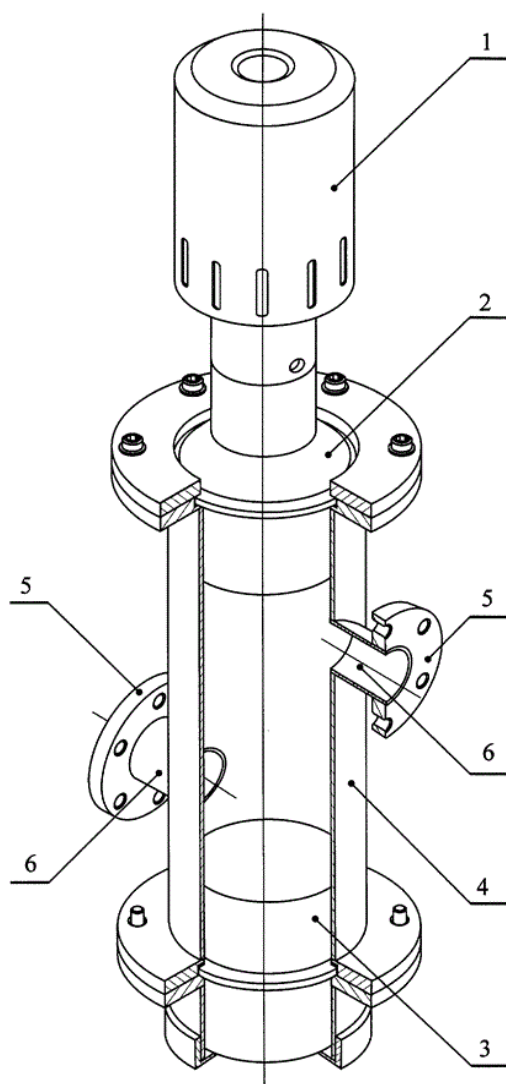


Рис. 2. Пристрій для гідратації біополімерів: 1 – електроакустичний перетворювач; 2 – акустичний хвильовий трансформатор; 3 – відбивач-резонатор; 4 – реактор; 5 – фланці; 6 – патрубки.

Цей спосіб дає змогу знизити мікробіологічне забруднення зерна завдяки інтенсифікації знезараження води, що його зволожує, та підвищенню вмісту бактерицидної речовини – перекису водню, яка утворюється внаслідок кавітаційного впливу. Недоліком цього пристрою є обмежений об'єм камери та

технічна неможливість обробляти безпосередньо саме зерно, оскільки активується лише вода.

Відомий також пристрій – барабанний стерилізатор для знезараження сипких продуктів при поєднаному впливі озону та ультрафіолетового випромінювання (рис. 3).



Рис. 3. Барабанний стерилізатор

Барабанний стерилізатор містить циліндричну камеру дезінфекції, раму, пульт керування, електропривід і лоток для вивантаження знезараженої продукції. За його допомогою здійснюється дезінфекція продукції обробкою озоном у поєднанні з короткохвильовим УФ-випромінюванням. Недоліком озонування є те, що створюється гранична концентрація озону, яка є шкідливою для зерна. Крім того, озон стимулює схожість і проростання зерна, що є неприпустимим під час його зберігання.

На практиці також застосовують пристрій для комбінованого знезараження зерна з використанням електромагнітного поля надвисокої частоти (рис. 4). Сухе зерно, очищене від домішок, зволожують знезаражувальним водним розчином і обробляють в електромагнітному полі надвисокої частоти з високою щільністю потоку енергії.

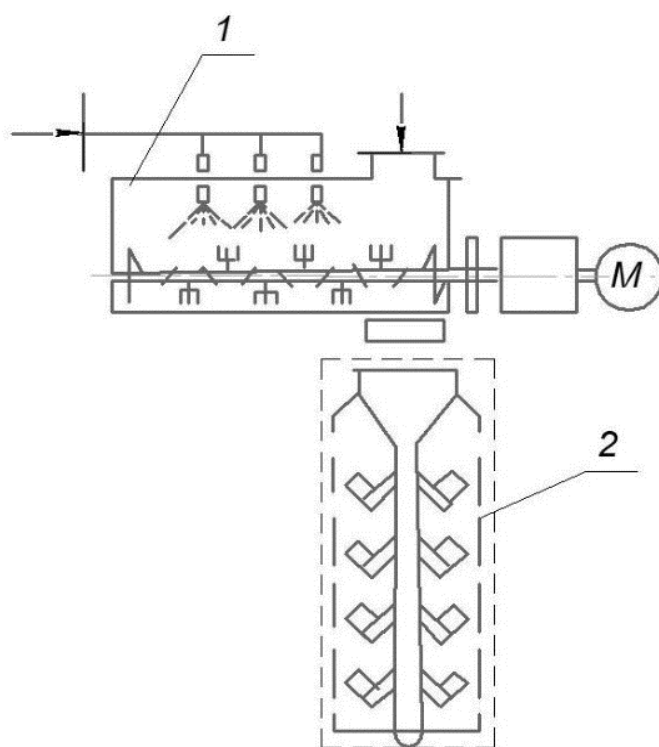


Рис. 4. Комбінований знезаражувальний пристрій: 1 – зволожувальна машина;
2 – вертикальна проточна робоча камера хвилевідного типу для СВЧ-обробки зерна.

Недоліком цього способу є негативний вплив СВЧ-випромінювання, який ґрунтується на високотемпературній обробці зерна, що призводить до денатурації білків і погіршення його якісних характеристик.

Список використаних джерел

1. Сакірін. С. Підсумки 2024 року для борошномельної галузі України. АПК-Інформ. URL: <https://www.apk-inform.com/uk/exclusive/topic/1546672>.

Роман ЯКИМЕНКО

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Костянтин БОРАК

д-р. техн. Наук, професор

Поліський національний університет, м. Житомир

ОПТИЧНІ МЕТОДИ ТА СЕНСОРНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ Й СОРТУВАННЯ ПЛОДІВ

У сучасних харчових ланцюгах контроль якості плодів набуває ключового значення. Споживачі прагнуть отримувати плоди з оптимальними смаковими властивостями, без пошкоджень та дефектів, а виробники зацікавлені у мінімізації втрат і раціональному використанні ресурсів. Традиційні методи контролю ґрунтуються на руйнуванні плодів (наприклад, використання рефрактометрів для визначення цукристості) і базуються на візуальному досвіді сортувальника, що робить їх повільними й суб'єктивними. Тому останніми роками різко зросла кількість досліджень з впровадження оптичних методів та сенсорних технологій – систем, здатних швидко та без руйнування оцінювати внутрішню і зовнішню якість плодів. Застосовуючи спектроскопію близького інфрачервоного діапазону, гіперспектральну та мультиспектральну зйомку, візуальні системи на основі машинного зору, електронні носи, ультразвукові та віброакустичні датчики, можливо кількісно оцінювати хімічний склад, твердість, ступінь стиглості та інші параметри. У цій статті узагальнено сучасні англomовні, німецькі, французькі, корейські, японські та українські джерела про оптичні методи й сенсорні технології для оцінювання та сортування плодів.

Оптичні методи базуються на взаємодії електромагнітного випромінювання з тканинами плодів. Під дією випромінювання у видимому та ближньому інфрачервоному (БІК) діапазонах молекули поглинають або відбивають певні

довжини хвиль, що відповідає наявності пігментів, цукрів, органічних кислот і води. На відміну від традиційних хімічних аналізів,

спектроскопічні та візуальні методи не пошкоджують плоди. Основні категорії оптичних методів включають:

БІК-спектроскопія – вимірює відбивання або поглинання в межах 750–2500 нм для кількісної оцінки розчинних твердих речовин (RS), вологи, кислот тощо.

Гіперспектральна зйомка (HSI) – поєднує спектроскопію і зображення; кожен піксель містить спектр, що дозволяє будувати карти розподілу складу.

Мультиспектральна зйомка – використовує декілька дискретних довжин хвиль (видимий та НІК-діапазон) для відображення кольору, форми та хімічних властивостей. Системи машинного зору – оцінюють форму, розмір та дефекти на основі камер і алгоритмів розпізнавання зображень.

Оптичні сенсори – портативні прилади (сканери БІК, електронні носи тощо) для швидкого польового аналізу.

До ефективного застосування цих методів необхідні калібрування та обробка даних. Наприклад, для БІК та HSI використовують методи передобробки спектрів і зменшення вимірів (наприклад, головні компоненти) перед створенням прогнозних моделей. Глибокі нейронні мережі й інші алгоритми машинного навчання допомагають підвищити точність класифікації.

Принцип та переваги. БІК-спектроскопія забезпечує швидкий збір спектральних даних з багатою інформацією, що дозволяє оцінювати внутрішню якість плодів. Однак спектри сильно перекриваються, а результати залежать від температури, сорту та неоднорідності зразків; тому для різних сортів потрібні окремі калібрувальні моделі [1]. Поширені методи моделювання включають часткові найменші квадрати (PLS), методи незалежних компонент та опорні вектори, а також глибокі нейронні мережі [1].

У наведеній схемі показано, як джерело ближнього інфрачервоного світла опромінює плід, відбитий сигнал фіксується детектором, а потім обробляється алгоритмами. Така візуалізація допомагає зрозуміти, що БІК-спектроскопія складається з трьох етапів: випромінення, детектування та аналізу. Детектори

зазвичай виконують роль спектрометрів, що розкладають світло за довжинами хвиль. Подальше моделювання дозволяє переводити спектр у кількісні показники, такі як розчинні тверді речовини або твердість.



Рис. 1. Принцип дії БІК-спектроскопії

Дослідження показали, що БІК-спектроскопія дозволяє прогнозувати розчинні тверді речовини та твердість яблук, манго та авокадо з високою точністю. Портативні пристрої Food-Scanner у Німеччині успішно використовуються для визначення сухої речовини, води, цукру та кислот у різних плодах, замінюючи руйнівні методи (рефрактометрію, титрування) і надаючи швидкий результат у польових умовах.

У Японії для білих сортів суниці, що не червоніють при дозріванні, застосовано суміщену видимо-БІК та чисто БІК-спектроскопію. Дослідники відзначили, що спектри містили характерні поглинання, пов'язані з антоціанами та хлорофілом й змогли з високою точністю передбачити вміст цукру незалежно від кольору шкірки. Такий підхід дозволяє оптимізувати збір урожаю та уникати суб'єктивних оцінок стиглості.

До недоліків БІК-спектроскопії належать чутливість до температури та неоднорідності плодів, а також потреба в ретельному калібруванні. Для високоточного прогнозування необхідно створювати окремі моделі для кожної культури та враховувати сезонні зміни. Однак постійне удосконалення алгоритмів та поява компактних сенсорів забезпечують перспективи для широкого впровадження в агробізнесі.

Гіперспектральна зйомка формує тривимірну «кубову» структуру даних, де кожен піксель містить спектр у видимому та БІК діапазонах. Поєднання просторової та спектральної інформації дозволяє виявляти біохімічні та структурні особливості плодів, недоступні для звичайного зору. Через велику кількість спектрів необхідні методи передобробки та зменшення розмірності (головні компоненти, відбір значущих хвильових діапазонів).

Схема ілюструє концепцію гіперспектральної лінійної зйомки: лінійний сканер та джерело світла переміщуються над стрічкою з плодами, збираючи спектральну інформацію для кожного пікселя. Зібрані дані формують тривимірний «куб» з розмірністю за просторовими координатами та довжиною хвилі. Кожний зріз куба відображає інтенсивність відбитого світла на певній довжині хвилі, а подальший аналіз дозволяє визначати хімічний склад і дефекти. Такий підхід забезпечує більш детальну картину внутрішнього стану плодів порівняно з традиційними зображеннями.

У міжнародному дослідженні HSI успішно застосовували для прогнозування вмісту цукру, вітаміну С та органічних кислот у помело, а також для виявлення ранньої гнилі у апельсинах і класифікації гранатів за допомогою глибоких нейронних мереж [2].

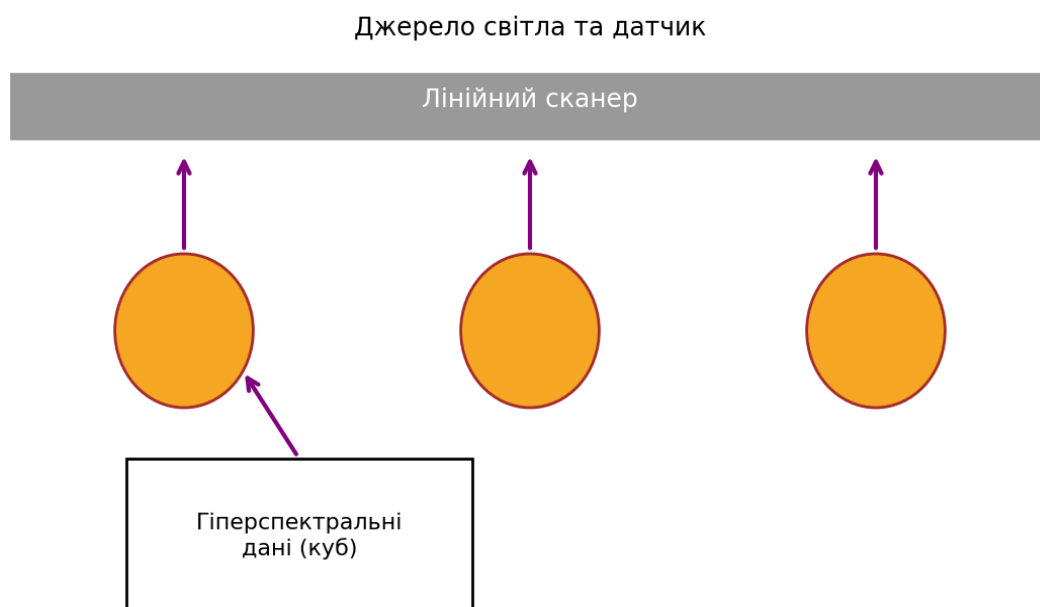


Рис. 2. Гіперспектральна зйомка.

Системи на основі HSI здатні виявляти навіть невеликі пошкодження та зовнішніх шкідників у яблуках [2]. Такі системи відносяться до «візії 4.0» у харчовій промисловості: французькі фахівці зазначають, що гіперспектральна візія дозволяє в реальному часі відокремлювати плоди за ступенем зрілості, рівнем забруднення та іншими ознаками й трансформувати складні спектральні дані в зрозумілі кольорові карти (так званий хімічний колориметричний аналіз)/

У дослідженні японських науковців для білих суниць була розроблена БІК-гіперспектральна система, яка дозволила візуалізувати розподіл цукру на поверхні ягоди. Застосовуючи машинне навчання та алгоритми обробки зображень для автоматичного визначення насінин, вдалося отримати карти розподілу цукру, що не залежать від кольору шкірки. Такий метод дає змогу точно визначати стиглість кожного плоду та сприяє експорту японських ягід високої якості [3].

Гіперспектральні системи забезпечують найвищу точність та універсальність; однак вони є дорогими та генерують великі обсяги даних. Інтерпретація результатів потребує складних алгоритмів та потужного апаратного забезпечення. Комерційні рішення все частіше використовують глибокі згорткові мережі для автоматичної класифікації та оцінки якості.

На відміну від HSI, мультиспектральні системи працюють з невеликою кількістю вибраних діапазонів (наприклад, 400–700 нм та 700–1000 нм) і використовуються для швидкого сортування на конвеєрі. Корейські джерела повідомляють, що такі камери аналізують форму, розмір та поверхневі дефекти плодів, а також оцінюють внутрішні параметри, як-от вологість та вміст цукрів за допомогою видимого та БІК випромінювання. Вони здатні виявляти забруднення й поверхневі пошкодження, визначати суху речовину й стиглість (наприклад, для бананів) і допомагають визначати оптимальний час збору та пакування.

Машинне зору та штучний інтелект. Системи машинного зору використовують RGB-камери й алгоритми обробки для оцінювання кольору, форми та дефектів. За даними англомовного огляду, такі системи дозволяють автоматизувати контроль якості й зменшити суб'єктивність ручної перевірки; основними етапами є передобробка, сегментація, вилучення ознак та класифікація.

Використання глибоких згорткових мереж та методів машинного навчання дає можливість здійснювати сортування в реальному часі, однак потребує великого набору навчальних даних та обчислювальних ресурсів.

В Україні розроблено роботизований комплекс сортування фруктів на основі штучного інтелекту, який об'єднує камеру, маніпулятор та нейронну мережу. Розробники зазначають, що, щоб відповідати стандартам ЄС, система повинна враховувати фізичні пошкодження, гнилість, ураження шкідниками, колір, дефекти шкірки та відхилення за розміром [4]. Маніпулятор із встановленою камерою Gemix A10 забезпечує рівномірне освітлення, що мінімізує похибку під час класифікації, а нейронну мережу тренували на наборі з 316 зображень, використовуючи архітектуру YOLO для розпізнавання на дистанції до 30 см [4]. Отримані результати показують, що система може автоматично перенаправляти плоди на відповідні конвеєри й зменшувати потребу в ручній праці.

Електронний ніс (e-nose) складається з набору газових датчиків (наприклад, метал-оксидних чи електрохімічних), що реагують на леткі органічні сполуки. У нещодавньому дослідженні для суниць пошкоджених мікромеханічними ударами, розробники побудували портативний e-nose, де комбінувалися метал-оксидні та електрохімічні сенсори; застосування методів відбору ознак та підтримкового вектора (SVM) дозволило досягти точності класифікації 84 % [5]. Технологія дозволяє швидко й без руйнування виявляти незначні пошкодження, що важливо для запобігання псуванню під час зберігання та транспортування.

Ультразвук та віброакустика дозволяють оцінювати механічні властивості плодів без контакту. Лінійні моделі показують, що зі збільшенням часу зберігання швидкість ультразвуку зменшується, а затухання сигналу збільшується, що відображає зниження твердості; такі підходи застосовувалися для апельсинів, яблук та ківі [1]. Віброакустичні системи, аналізуючи реакцію плода на удар або вібрацію, дозволяють оцінити твердість та модуль пружності, а методи швидкого перетворення Фур'є та часткових найменших квадратів використовують для оцінки стиглості й вмісту цукру [1]. Перевагою є висока швидкість та відсутність потреби в

освітленні, однак ці методи чутливі до геометрії плоду та часто потребують багаторазового калібрування.

Поряд з оптичними методами, до контролю якості плодів залучаються датчики тиску, магнітно-резонансні та індукційні пристрої. У німецькому проекті Food-Scanner мініатюрні БІК-сенсори забезпечують оцінку вологи, сухої речовини, цукру та кислот безпосередньо на полях або в пакувальних цехах. Комбінування оптичних та інших сенсорів (наприклад, e-nose, ультразвуку) дозволяє створювати комплексні системи контролю.

Ефективне сортування та оцінка плодів вимагає інтеграції різних джерел даних і застосування алгоритмів машинного навчання. На схемі зображено конвеєрну стрічку з плодами, над якою встановлено декілька сенсорів: камера видимого діапазону, БІК-детектор, електронний ніс і ультразвуковий датчик. Інформація від кожного сенсора використовується для класифікації плодів за якістю та спрямування їх у відповідні контейнери. Такий комплексний підхід дозволяє компенсувати недоліки окремих методів та підвищити точність сортування. Сучасні системи використовують одночасно БІК-сканери, камерні системи та електронні носи для створення цифрового профілю плоду. Глибокі мережі покращують точність класифікації й дозволяють адаптуватися до різних сортів і умов вирощування.

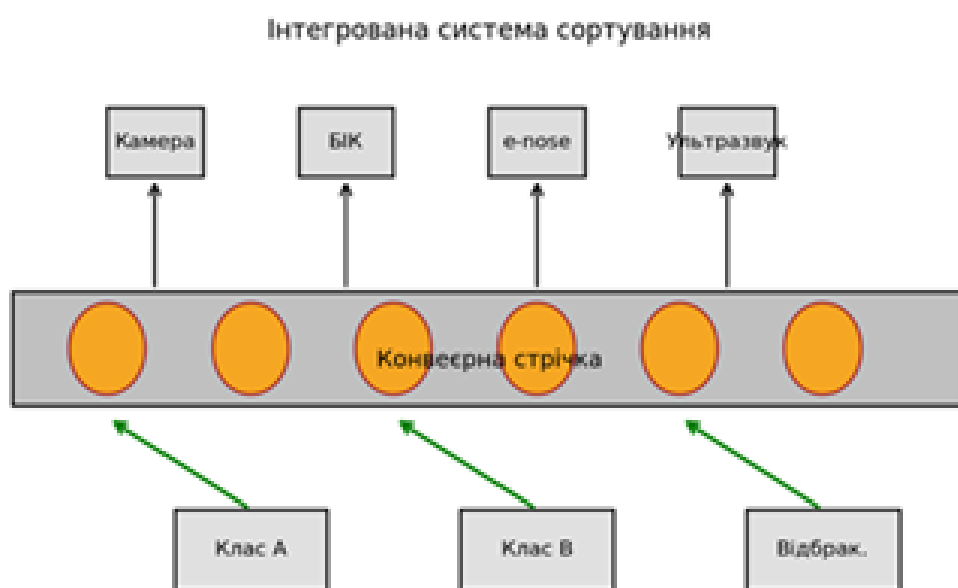


Рис. 3. Інтегрована система сортування.

Разом із тим, існують виклики:

1. Складність обробки даних. Гіперспектральні та мультисенсорні системи генерують великі обсяги даних, що потребують швидких обчислень та оптимізованих алгоритмів.

2. Уніфікація моделей. Через різноманіття сортів і умов вирощування необхідно створювати гнучкі моделі, здатні адаптуватися до нових даних та мінімізувати залежність від температури й зовнішніх умов [1].

3. Вартість та доступність. Гіперспектральні та мультиспектральні камери залишаються дорогими; здешевлення технологій й розвиток портативних сенсорів (наприклад, мініатюрних БІК-сканерів) відкриває нові можливості для фермерів та торгових мереж.

4. Стандартизація та прийняття. Для інтеграції в міжнародні торгові системи потрібні єдині стандарти якості та сертифікації. Українські дослідники підкреслюють, що впровадження роботизованих комплексів на основі штучного інтелекту допоможе адаптувати продукцію до стандартів ЄС, враховуючи фізичні та органолептичні критерії [4].

У майбутньому можна очікувати появи більш компактних і доступних пристроїв, що поєднуюватимуть різні методи (оптичні, акустичні, газоаналізаторні) та забезпечуватимуть хмарну аналітику. Акцент зрушується на розробку моделей машинного навчання, що враховуватимуть біологічну мінливість і надаватимуть зрозумілі рекомендації для фермерів, сортувальних центрів та експортерів.

Оптичні методи та сенсорні технології кардинально змінюють підхід до оцінювання й сортування плодів. БІК-спектроскопія та гіперспектральна зйомка дають можливість безконтактно оцінювати хімічний склад плодів, а мультиспектральні камери й системи машинного зору дозволяють виявляти дефекти та класифікувати плоди за зовнішнім виглядом. Електронні носи, ультразвукові та віброакустичні датчики доповнюють спектральні методи, забезпечуючи повніший контроль якості. Інтегровані системи, що поєднують різні сенсори і штучний інтелект, уже застосовуються у промисловості й наукових лабораторіях. Незважаючи на виклики, пов'язані зі складністю обробки та високою вартістю

обладнання, постійний прогрес у мініатюризації, обчислювальній техніці та машинному навчанні відкриває шлях до широкого впровадження цих технологій у всьому світі, включно з Україною.

Список використаних джерел

1. Liu J., Sun J., Wang Y., Liu X., Zhang Y., Fu H. Non-Destructive Detection of Fruit Quality: Technologies, Applications and Prospects. *Foods* 2025, 14(12), 2137; <https://doi.org/10.3390/foods14122137>.
2. Liu J., Sun J., Wang Y., Liu X., Zhang Y., Fu H. Non-Destructive Detection of Fruit Quality: Technologies, Applications and Prospects. *Foods* 2025, 14(12), 2137; <https://doi.org/10.3390/foods14122137>.
3. Seki H, Murakami H, Ma T, Tsuchikawa S, Inagaki T. 白イチゴの糖度を可視・近赤外光で「見える化」
～果皮の色によらない選別と熟度判定の技術確立に寄与～. URL:
<https://doi.org/10.3390/foods13142274>.
4. Данченков В.О., Данченков Я.В. Розробка роботизованого комплексу сортування фруктів на основі штучного інтелекту. Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси (ІРТК-2025). Вісімнадцята міжнародна науково-практична конференція 20-21 травня 2025 р., Київ, Україна. К.: KAI, 2025С. 26-28.
5. Qin Y., Jia W., Sun X. Development of electronic nose for detection of micro-mechanical damages in strawberries. *Sec. Nutrition and Food Science Technology Volume* 10 – 2023. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1222988>.

СЕКЦІЯ 3

РЕМОНТ МАШИН: ПРИНЦИПИ, ПІДХОДИ ТА ВИКЛИКИ MACHINE REPAIR: PRINCIPLES, APPROACHES AND CHALLENGES

Петро АЛТУХОВ

Викладач закладу вищої освіти
«Філія Класичного приватного
університету в місті Кременчук»

ДІАГНОСТУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДЕТАЛЕЙ ГРМ СУЧАСНИХ АВТОМОБІЛІВ

Система газорозподільного механізму (ГРМ) є критично важливим вузлом сучасного двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ), що безпосередньо впливає на його продуктивність, паливну ефективність та рівень викидів. В умовах посилення екологічних стандартів та широкого впровадження високофорсованих двигунів, таких як ті, що використовують пряме уприскування (GDI) та турбонаддув, вимоги до точності синхронізації фаз газорозподілу стали надзвичайно жорсткими. Незначні відхилення у фазовому куті, спричинені зносом або несправністю, можуть призвести до катастрофічних поломок двигуна, а також до суттєвого погіршення його експлуатаційних характеристик.

Складність діагностики зростає через високі термічні та механічні навантаження, які прискорюють знос деталей, особливо ланцюгових приводів та гідравлічних компонентів систем зміни фаз. Несвоєчасне або неточне виявлення відхилень у роботі ГРМ, зокрема, порушення синхронізації, призводить до неоптимального згоряння палива, збільшення токсичності вихлопу та зниження потужності. Отже, розробка та впровадження комплексних, високоточних діагностичних протоколів, що охоплюють як фізичний знос, так і електронно-гідравлічні збої, є актуальною інженерною задачею [1, с.36].

Історично системи ГРМ еволюціонували від жорстких пасових або ланцюгових приводів до складних мехатронічних систем. Ключовим етапом цієї еволюції стало впровадження систем із змінними фазами газорозподілу (VariableValveTiming, VVT), відомих під різними комерційними назвами (VVTi, VANOS, MultiAir). Ці системи дозволяють електронному блоку керування двигуном (ECM) адаптувати час відкриття та закриття клапанів залежно від швидкості обертання та навантаження, оптимізуючи крутний момент та економічність.

У сучасних ДВЗ, особливо з багатоланковими ланцюгами, довговічність ГРМ знижується, а механічна діагностика ускладнюється через невидимість компонентів. Це підкреслює необхідність переходу від суто візуальної чи механічної діагностики до складніших методів, що базуються на аналізі сенсорних даних та осцилографії.

Для ефективної діагностики несправності ГРМ класифікують за їхньою природою. Механічні несправності – включають фізичний розтяг ланцюга або паса, знос профілю зубів зірочок, поломку гідравлічних або механічних натягувачів, а також руйнування направляючих (демпферів) ланцюга.

Гідравлічні несправності – стосуються функціональності систем VVT. Вони виникають через недостатній тиск масла, забруднення масляних каналів, або некоректну роботу VVT-актуаторів (фазорегуляторів) та керуючих соленоїдів.

Електронні або сенсорні несправності – пов'язані з некоректним функціонуванням датчиків положення колінчастого вала (ДПКВ/СКР) та розподільчого вала (ДПРВ/СМР), пошкодженням електропроводки, роз'ємів, або виходом з ладу тонових кілець.

Центральним елементом електронної діагностики ГРМ є моніторинг кореляції між положенням колінчастого вала та розподільчого вала. ECM використовує сигнали від ДПКВ та ДПРВ для визначення базового фазового кута. Датчики генерують імпульси, які, будучи накладені один на одного, повинні відповідати ідеальній «еталонній» синхронізації, встановленій виробником для кожного конкретного двигуна. Будь-яке відхилення цієї синхронізації, що перевищує встановлені виробником толеранси (зазвичай вимірюється у градусах повороту колінчастого вала), свідчить про проблему.

Діагностичні коди несправностей (DTC) надають первинну інформацію про природу збою. При діагностиці ГРМ критично важливо розрізняти коди, що вказують на електричну несправність, та коди, що вказують на функціональне порушення синхронізації.

Таблиця 1 – Аналіз та причини виникнення ключових діагностичних кодів несправностей ГРМ

DTC Код	Опис несправності (Correlation/Circuit)	Типові первинні причини	Пріоритет діагностики
0016	Crankshaft Position – Camshaft Position Correlation (Bank 1, Sensor A)	Розтягнення ланцюга/пасу, зсув тонового кільця, збій VVT фазера, низький тиск/якість масла	Високий (осцилографічна перевірка фази)
P0340	Camshaft Position Sensor Circuit Malfunction	Обрив/коротке замикання ланцюга, несправність самого датчика, невірний зазор	Високий (перевірка проводки, живлення та опору датчика)
P0343	Camshaft Position Sensor «А» Circuit High Input (Bank 1)	Вихідна напруга вища за 4.7 V. Коротке замикання на живлення, несправність ЕСМ.	Високий (перевірка напруги живлення датчика)
P0011	Intake Camshaft Position Timing – Over-Advanced (Bank 1)	Заїдання VVT-актуатора у положенні «випередження», несправність соленоїда, забруднення каналів	Середній (перевірка гідравліки VVT)

Коди серії P034x (наприклад, P0340, P0342, P0343) зазвичай вказують на проблеми в електричному ланцюзі датчика положення розподільчого вала (CMP). Наприклад, код P0343 (HighInput) свідчить, що вихідна напруга датчика є вищою за 4.7 В, що може бути спричинено коротким замиканням на живлення або несправністю самого датчика. У цьому випадку діагностика повинна фокусуватися на перевірці проводки, напруги живлення та опору датчика.

Натомість, код P0016 (CrankshaftPosition – CamshaftPositionCorrelation) є найбільш важливим індикатором механічного або гідравлічного збою ГРМ. Він сигналізує, що, хоча обидва датчики (СКР і CMP) функціонують і передають сигнал,

їхні імпульси не синхронізовані відповідно до еталонного шаблону. Основними причинами P0016 є розтяг ланцюга (або проскок паса), збій у роботі фазера VVT або зсув тонового кільця.

При появі P0016, перед заміною датчиків, що часто є помилковим кроком, необхідно перевірити фактичну синхронізацію, оскільки код є наслідком механічного або гідравлічного зсуву фази [2].

Сучасні двигуни використовують два основних типи датчиків положення: датчики Холла та індуктивні датчики (постійних магнітів). Метод тестування суттєво різниться залежно від типу сенсора.

Первинна діагностика завжди починається з найпростіших кроків: візуальна інспекція. Необхідно перевірити загальну область розташування датчиків (СКР та СМР) на предмет пошкоджених дротів, ослаблених або відключених роз'ємів. Слід звернути увагу, чи не забруднений датчик мастилом, рідинами або металевим пилом, що може спотворювати сигнал.

Якщо візуальна інспекція не виявляє явних проблем, проводиться електричне тестування. Протоколи передбачають перевірку напруги живлення (зазвичай 5 В або 12 В, залежно від типу датчика) та опорного сигналу. Наприклад, для діагностики несправності P0343, яка вказує на високу напругу, перевірка напруги термінала є обов'язковою.

Діагностування технічного стану ГРМ сучасних автомобілів вимагає відходу від односторонніх методів на користь комплексного, інтегрованого підходу. Успішна діагностика базується на чіткому розмежуванні первинних причин збоїв, використовуючи OBD-коди для ідентифікації типу несправності (електрична, гідравлічна чи механічна) і прямі механічні вимірювання.

Список використаних джерел

1. Практичні основи діагностування автомобільних двигунів. Навч. посібник П 69: Мигаль В. Д. та ін. ХНАДУ. 2021. 412 с.

2. Causes and Fixes P0016 Code. Youtube.

URL: https://www.youtube.com/watch?v=XWEInn_zBx4 (дата звернення 05.10.2025).

Віталій БОНЧИК

канд. техн. Наук, доцент

кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Taras HUTSOL

доктор технічних наук, професор

фонду «Ukrainian University in Europe»

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БРОНЗОВИХ ВТУЛОК

Мідні сплави з легуючими домішками відіграють ключову роль у сучасному машинобудуванні та суміжних галузях. Залежно від введених компонентів бронзи можуть відрізнятися електропровідністю, теплопровідністю, міцністю, пластичністю, жаростійкістю, зносостійкістю чи хімічною стійкістю. Одними з найбільш поширених сплавів є традиційні олов'яні бронзи, однак сучасна промисловість активно застосовує і безолов'яні варіанти з добавками алюмінію, берилію, фосфору, кремнію чи нікелю. Значну частку виробів становлять деформовані сплави, які поєднують високу пластичність, щільність і довговічність, тоді як литі бронзи вирізняються хорошою оброблюваністю, стійкістю до корозії та можливістю зміцнення термообробкою. Завдяки цим властивостям бронзові деталі знаходять широке застосування, зокрема у виготовленні підшипників, пружин, шестерень та втулок.

Бронзові втулки відіграють особливу роль у механізмах, що працюють в умовах підвищеного тертя. Їх головне призначення полягає у зменшенні зносу деталей, продовженні терміну служби вузлів та підвищенні надійності роботи машин. Як правило, втулки виготовляються методом відцентрового лиття з подальшою механічною обробкою, що забезпечує точність розмірів і високу якість поверхні.

Популярність цих деталей пояснюється їх антифрикційними характеристиками, що дозволяють знижувати теплові втрати та забезпечувати

роботу механізмів при мінімальних зазорах. Крім того, конструктивний принцип роботи втулки ґрунтується на тому, що вона поступається твердістю більш дорогим і дефіцитним деталям, які вона захищає, приймаючи основне навантаження на себе. Такий підхід істотно знижує витрати на технічне обслуговування та ремонт.

Практичне застосування бронзових втулок значною мірою залежить від складу сплаву. Найбільш доступними є втулки з литої бронзи марки БрОЦС 555, які завдяки м'якості та наявності олова мають гарні ковзні властивості та мінімально впливають на контактні поверхні. Для механізмів з високими навантаженнями частіше використовуються сплави БрОФ10-1 і БрОФ7-02, що відзначаються вираженими антифрикційними властивостями і застосовуються у пресовому обладнанні чи відповідальних агрегатах. У середовищах з високою агресивністю, наприклад у хімічній промисловості, перевагу надають втулкам марки БрАЖН10-4-4 з нікелем у складі, здатним забезпечувати корозійну стійкість і витримувати підвищені температури.

В окрему групу можна віднести бронзи, призначені для роботи у морській техніці. Так звані «морські втулки» марки БрАЖМц10-3-1.5 відзначаються винятковою корозійною стійкістю, що доповнюється міцністю при високому тиску завдяки наявності марганцю у структурі сплаву. Для роботи у надзвичайно важких умовах експлуатації, коли деталі піддаються одночасно високим температурам та значним навантаженням, використовують втулки марки БрОС10-10. Завдяки поєднанню міді, олова і свинцю вони утворюють на поверхні тертя захисну плівку, що знижує коефіцієнт тертя та дозволяє працювати при температурах до 500 °С.

Таким чином, бронзові втулки є одними з найбільш затребуваних деталей у сучасному машинобудуванні завдяки поєднанню доступності, технологічності та експлуатаційних властивостей. Їх різноманітність за марками і складом дозволяє ефективно застосовувати ці вироби у легких, середніх та важких умовах роботи, починаючи від транспортних засобів і закінчуючи високонавантаженими промисловими агрегатами.

Вибір конкретного типу втулки визначається не лише вартістю, але й вимогами до стійкості проти зносу, корозійної витривалості та здатності працювати в екстремальних умовах.

Список використаних джерел

1. Пельцер Г. Основи тертя і зношування / Г. Пельцер, Ф. Майснер. Київ, Техніка, 2014. 264 с.
2. Сідашенко О.І., Науменко О.А., Поліський А.Я. та ін. Ремонт машин. Київ: Урожай, 2002. 218 с.

Віталій БОНЧИК

канд. техн. Наук, доцент

кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Savelii KUKHARETS

доктор технічних наук, професор

професор кафедри машинобудування,

енергетики та біотехнологій сільськогосподарської

академії університету ім. Вітовта Великого

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИВАЛОСТІ МІЖРЕМОНТНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Сільськогосподарські двигуни працюють у надзвичайно складних умовах, що значно ускладнює забезпечення їх тривалого міжремонтного ресурсу. Однією з головних проблем є недостатня точність деталей, які надходять на складання під час ремонту. Найбільш суттєвий вплив на надійність агрегатів справляють відхилення макроеометрії робочих поверхонь циліндро-поршневої групи. У результаті підвищується інтенсивність початкового зношування, що скорочує строк служби двигунів у повторній експлуатації. Тому актуальною є розробка технологій, які дозволяють забезпечити адаптацію робочих поверхонь деталей одна до одної без значного збільшення їх зносу. Одним із перспективних рішень є застосування електрохіміко-механічного припрацювання, яке дає можливість оптимізувати макроеометрію сполучень у процесі складання. Цей метод сприяє формуванню сприятливого мікрорельєфу, що забезпечує високу зносостійкість і підвищену працездатність деталей.

Аналіз показує, що точність деталей, які були у використанні, а також запасних або відновлених елементів, що надходять у ремонт, є недостатньою для

забезпечення високої довговічності двигунів. У результаті їх міжремонтний ресурс може бути зменшений на 60–70 % у порівнянні з первинними показниками.

Ключовими вузлами, які визначають працездатність двигуна, є сполучення канавка поршня – кільце – гільза, що працюють у найбільш навантажених умовах. Відомо, що ресурс двигуна залежить як від величини початкового зносу, так і від подальшої швидкості нормального зношування, що безпосередньо пов'язано з якістю поверхонь після складання.

В умовах ремонтного виробництва традиційні методи припрацювання не забезпечують необхідної точності і нерідко спричиняють додатковий знос. Натомість використання електрохіміко-механічного припрацювання дозволяє усунути макрогеометричні відхилення та сформувати поверхні з поліпшеними трибологічними властивостями. Це значно зменшує інтенсивність зношування в експлуатації і підвищує ресурс двигунів.

Експериментальні дослідження були спрямовані на визначення оптимальних режимів електрохіміко-механічного припрацювання сполучень кільце – гільза, які потім були випробувані на реальних двигунах. Отримані результати підтвердили, що вдосконалена технологія дозволяє забезпечити кращу припрацьовуваність пар тертя: кільце – гільза, кільце – канавка поршня, поршень – гільза. Запропонована методика скоригованого електрохіміко-механічного припрацювання показала значну ефективність у порівнянні з традиційними підходами.

Практична перевірка засвідчила суттєве зростання прогнозованого ресурсу дослідних двигунів. Так, середнє напрацювання на відмову у двигунів СМД-14НГ збільшилася до 4738 мотогодин проти 1449 у контрольних зразків, що становить зростання в 3,27 рази. Для двигунів Д-240 цей показник досяг 4811 мотогодин проти 1443, що відповідає зростанню в 3,33 рази. Додатково встановлено, що застосування удосконалених режимів електрохіміко-механічного припрацювання дозволяє підвищити ресурс ще на 10 % у порівнянні з існуючими технологіями.

Отже, проведені дослідження підтверджують перспективність використання електрохіміко-механічного припрацювання як ефективного засобу підвищення міжремонтного ресурсу двигунів мобільної сільськогосподарської техніки.

Використання цього методу забезпечує зменшення початкового зносу, покращує макро- і мікрогеометричні параметри робочих поверхонь і сприяє тривалій та надійній роботі машин в умовах інтенсивної експлуатації.

Список використаних джерел

1. Розробка технологічного процесу прискореної обкатки тракторних двигунів з використанням ЕХМП основних з'єднань: Звіт про НДР (проміжний) / Луганський СГІ; № ДР УАО1001530Р; Інв. № 8М/12. Луганськ, 2012. 54 с.
2. Демидко І.В. Підвищення економічної ефективності ремонту автомобільних двигунів. Київ: Транспорт, 2002. 175 с.

ІСТОРІЯ СТАНОВЛЕННЯ ТА РОЗВИТКУ ГАЗОВОГО ЗВАРЮВАННЯ

Газове зварювання – це процес з'єднання матеріалів під впливом тепла, що утворюється полум'ям газового пальника. Це створює міцний зварний шов. Газове зварювання використовує обладнання, яке дозволяє генерувати дуже високі температури. Джерелом тепла є палаючий газовий пальник, що дозволяє змішувати гази в потрібній пропорції.

Спосіб газового зварювання був розроблений наприкінці XIX століття, коли починалося промислове виробництво кисню, водню та ацетилену. У той період газове зварювання було основним способом зварювання металів і забезпечувало отримання найбільш міцних зварних з'єднань. Надалі зі створенням та впровадженням високоякісних електродів для дугового зварювання, автоматичного та напіваавтоматичного дугового зварювання під флюсом, у середовищі захисних газів (аргону, гелію та вуглекислого газу та ін), газове зварювання було поступово витіснене з багатьох виробництв цими способами електричного зварювання. Тим не менш, і до цього часу газове зварювання металів поряд з іншими способами зварювання широко застосовується у різних галузях промисловості та господарства.

Розвиток газового зварювання тісно пов'язаний з відкриттям та дослідженням водню та ацетилену. У 1766 р. англійський фізик та хімік Генрі Кавендіш досліджував фізичні та хімічні властивості водню. Перспективний спосіб одержання водню та кисню шляхом електролізу води запропонував Гемфрі Деві у 1802 р. У 1840 р. німецький хімік Д. Ріхман розробив апарат для отримання водню, що виділяється при взаємодії азотної кислоти з цинком. Водневим полум'ям, що утворюється на виході зі спеціального пальника, вдавалося паяти і зварювати легкоплавкі метали.

Вважається, що вперше термін «газове зварювання металів» ужив французький винахідник Д. де Рісімен у назві статті «Опис нового способу зварювання свинцю, названого газовим, і пальника з використанням повітря і водню, званої повітряно-водневої, призначеної для цієї мети», яка була опублікована 8 вересня.

Паралельно з пошуком газів для зварювання велася робота щодо створення надійного обладнання. Насамперед необхідно було сконструювати пальник, який забезпечував би гарне змішування газів з киснем, високу концентрацію теплоти на виході із сопла та вибухобезпеку. Одним з перших (1802 р.) пристроїв, що заслуговують на увагу, був пальник американського винахідника Р. Хейра для отримання воднево-кисневого полум'я. У Німеччині 1820 р. газовий пальник створив А. Брок. У 1850 р. у Франції С. К. Девіль створив пальник, в якому водень і кисень змішувалися ще до виходу назовні (подібна схема використовується в сучасних зварювальних пальниках). Температура киснево-водневого полум'я сягала 2600°C .

Тим часом у поле зору техніків потрапляє ацетилен – газ, теплота згоряння якого в кілька разів більша за теплоту згоряння водню, а температура полум'я в суміші з киснем досягає 3200°C .

У 1862 році Фрідріх Велер винайшов твердий сплав, що сприяло розвитку газового зварювання.

Ще в 1836 році ацетилен отримувати із карбіта кальція, що розкладався у воді. Але в той час карбід кальцію був дорогим хімічним з'єднанням, одержуваним у лабораторних умовах.

Тільки в 1892 році, коли був розроблений процес електричної виплавки карбіду кальцію при взаємодії негашеного вапна з коксом, собівартість карбіду кальцію знизилася в тисячу разів, що дозволило розпочати його широке застосування для отримання ацетилену.

Принципово нову конструкцію пальника, в якій ацетилен і кисень змішувалися всередині пальника запропонували Ч. Пікар та Е. Фуше. У пальнику,

розробленому Ч. Пікаром була потрібна подача ацетилену під високим тиском, тому використовувався ацетилен з балонів

У 1895 році французький дослідник Анрі Ле Шательє зазначив, що киснево-ацетиленове полум'я має не лише високу температуру, але й не окислює розплавленого заліза. Саме таке полум'я було необхідне зварювання.

У 1901 р. Едмон Фуше вперше використовував у пальниках стислий ацетилен (в ацетоні) і стислий кисень, у 1902 р. подав у пальник ацетилен прямо з генератора при нормальному тиску, а кисень під надлишковим тиском. І через два роки такі пальники вже використовували не лише для зварювання, а й для різання, збільшивши тиск кисню на виході з додаткових каналів. У пальниках Фуше, названих «Сіріус», ацетилен перемішували з киснем у два етапи: внизу в одній трубці і вгорі, в пучку трубок невеликого діаметру, що запобігало зворотному руху полум'я в першу всмоктувальну трубку, через яку проходила суміш практично невибухонебезпечного складу.

При транспортуванні зрідженого ацетилену в балонах часто відбувалися вибухи, і це гальмувало запровадження газового зварювання. Цю останню перешкоду подолав А. Ле Шательє, який запропонував поміщати розчин газу в ацетоні в пористе тіло. Балони наповнювали губкою, а потім заливали ацетон і накачували ацетилен.

Тепер для широкого промислового застосування газового зварювання

необхідно було знайти спосіб отримання дешевого кисню. І з цією проблемою впорався німецький фізик та інженер К. Лінде. У 1885 році він сконструював та побудував першу у світі промислову установку для отримання рідкого повітря і в 1902 створив ректифікаційний апарат для поділу повітря на компоненти.

Це відкрило можливості для широкого застосування кисню у техніці. Таким чином, до початку ХХ століття зусиллями багатьох вчених та винахідників було створено ще один спосіб з'єднання металів – ацетилено-кисневе зварювання.

Крім того, активно розвивається технологія автогенного різання, яка з'явилася практично одночасно у різних країнах. Е. Сміт та Е. Віс розробили пальник-різак з концентричними соплами, який дозволяв ефективно застосовуватися до різки заліза,

сталі та чавуну. У Німеччині цей вид обробки металів було реалізовано у вигляді пересувних установок для ацетилено-кисневої обробки.

Таким чином, до початку XX століття працями багатьох вчених та винахідників було створено ще один спосіб зварювання металів. Ацетилено-кисневе зварювання не потребувало електричної енергії (правда, для отримання карбіду кальцію та кисню потрібно електрику); газозварювальні установки були автономні, пересувні, нескладні в експлуатації. Серйозною перевагою цього способу, в порівнянні зі способами Н. Н. Бенардоса та Н. Г. Слов'янова, була можливість просто та ефективно покращити якість металу шва, захистивши полум'ям зони зварювання від дії повітря. Особливо багато прихильників газового (автогенного) зварювання було в Франції та Німеччині. Тут посилено вдосконалювали пальники, газові генератори для отримання ацетилену, клапани, редуктори, досліджували причини дефектів, вибирали оптимальні режими зварювання та форми оброблення кромek.

У ході розвитку електродугового та контактного зварювання газове зварювання поступово почало витіснятися на багатьох виробництвах. Тепер на перше місце висувається кисневе різання. У 30-х роках у зв'язку з дефіцитом карбіду кальцію широкого поширення набула різка з використанням рідких горючих, спочатку бензину, а згодом головним чином гасу. До цього періоду відноситься і виникнення механізованого кисневого різання.

Новий сплеск розвитку газополум'яної обробки металів припадає на період Другої світової війни та післявоєнні роки. Зокрема, в СРСР у роки війни виникли нові підприємства з випуску автогенного обладнання, такі як Барнаульський апаратурно-механічний завод, Свердловський автогенний завод №2.

У 1944р. створено спеціалізований Всесоюзний науково-дослідний інститут автогенної обробки металів – ВНДІавтоген (нині ВНДІавтогенмаш). Діяльність інституту спрямована на науково-теоретичне вивчення існуючих технологічних процесів та розробку нових, їх механізацію та автоматизацію. За роки свого існування інститут розробив кілька десятків нових прогресивних технологічних процесів та технологічних матеріалів для газотермічного напилення,

газополум'яного зварювання, різання, наплавлення, паяння, загартування та нагрівання. Створив кілька сотень нових газорізальних машин, установок для наплавлення, паяння та загартування, генераторів та іншого обладнання для виробництва ацетилену, пальників, різаків, редукторів, металізаційних апаратів тощо.

В результаті наукових досліджень, що проводяться, збільшується кількість процесів газополум'яної обробки. Крім кисневого різання та газового зварювання, отримали розвиток і багато інших процесів газополум'яної обробки: металізація, наплавлення, поверхнєве загартування, напилення та зварювання пластмас, газополум'яна пайка та ін. Але домінуюче значення, як і раніше, має кисневе різання.

У перші повоєнні роки широко почало впроваджуватися різання з використанням пропан-бутану та природного газу, а наприкінці 40-х років паралельно фірмою «Union Carbide and Carbon Corp.» (США – ФРН), інститутом ВНДАвтоген та кафедрою зварювального виробництва МВТУ ім. Баумана були розроблені та впроваджені у виробництво способи киснево-флюсового різання.

Дуже бурхливо розвиваються механізація та автоматизація процесів газополум'яної обробки металів, насамперед це стосується процесів газокисневого різання. Найбільших успіхів у цьому досягли такі країни, як Японія, ФРН, США. З початку 70-х років минулого століття на великих промислових підприємствах широко починають використовувати газорізальні машини з числовим програмним управлінням. Вони дозволяють проводити високоточне різання під зварювання та механообробку заготовок будь-якої конфігурації та складності, з постійною повторюваністю розмірів та мінімальними відхиленнями цих розмірів від номіналу, а також чистотою поверхні різку, порівнянної з тими самими параметрами при механообробці.

Для повної перемоги газу над дугою не вистачало лише збільшити швидкість зварювання. І тут виявилось, що у газового зварювання майже немає

резерву, що з нього більше нема чого «вичавити»; ні потужність, ні концентрація полум'я не хотіли підвищуватися. А при дуговому зварюванні проблема збільшення швидкості вирішувалася шляхом збільшення сили струму

(зрозуміло, до певної межі, залежно від діаметра електрода). Але пластичність металу шва, отриманого дуговим зварюванням, була поки досить низькою, що часто зводило нанівець все переваги даного методу перед газовим зварюванням.

В даний час газове зварювання застосовують обмежено для з'єднання сталевих деталей та вузлів невеликих товщин. Її можна застосовувати для зварювання кольорових сплавів з використанням флюсів, які сприяють розчиненню оксидів, що утворюються. Напаювання твердосплавних пластин та ін. Зварювання ацетилено-кисневим полум'ям ефективно у ремонтних роботах. Однак це малопродуктивний процес, що вимагає високої кваліфікації зварювальника. У промисловості газове зварювання практично витіснено іншими більш прогресивними способами.

Список використаних джерел

1. Обладнання і технологія газозварювальних робіт: Підручник / І. В. Гуменюк, О. Ф. Іваськів. Київ: Грамота, 2005. 272 с.
2. https://weldingmuseum.com/ru/gas_welding_history.html
3. https://weldingmuseum.com/ru/gas_welding_history.html
4. <https://studfile.net/preview/5650925/page:3/>
5. <https://parm.mybb.ru/viewtopic.php?id=113>
6. <https://mv-tools.com.ua/ru/zvarjuvannja-stattja?srsltid=AfmBOoo2PubuzehmU0dSgZxsunHrvhqNBCMP6Sr4u>

Максим ГУТІКОВ

Здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 252 «Безпека державного кордону»

Науковий керівник

Сергій ГОЛОВНЯ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Національна академія

Державної прикордонної служби України

імені Богдана Хмельницького»

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО СКЛАДУ СИЛ ТА ЗАСОБІВ РЕМОНТНИХ ПІДРОЗДІЛІВ ДЕРЖАВНОЇ ПРИКОРДОННОЇ СЛУЖБИ В УМОВАХ ПЕРЕДАЧІ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ЦИВІЛЬНИМ ОРГАНІЗАЦІЯМ НА ДОГОВІРНІЙ ОСНОВІ

Для розширення можливостей ремонтних підрозділів Державної прикордонної служби України (ДПСУ) необхідно залучати потужності цивільного автосервісу. В свою чергу, це передбачає передачу АЗ (автотранспортних засобів) цивільним підприємствам з метою обслуговування автотехніки на договірній основі. Проте в залежності від промислових потужностей регіону техніка може передаватися на обслуговування не тільки в повному обсязі, але й частково, що підтверджує експеримент проведений на основі Харківського органу охорони державного кордону (ООДК). Часткова передача техніки передбачає перерахунок сил та засобів ремонтних підрозділів. Наукове обґрунтування нових штатів ремонтних підрозділів потребує використання науково-методичного апарату, який дозволяв би не тільки розрахувати склад сил та засобів ремонтного підрозділу, але й оптимізувати штати для умов і потреб кожного окремого ООДК. Існуючі на даний момент подібні науково-методичні апарати не враховують специфіку організації технічного обслуговування і ремонту АЗ ООДК, так як складались для умов функціонування військових частин Міністерства Оборони або автотранспортних підприємств.

Проаналізувавши діяльність ремонтних підрозділів ООДК за допомогою системного підходу, та, визначивши критерії ефективності за якими необхідно оцінювати роботу цих підрозділів, можна зробити висновок, що для формалізації процесу функціонування досліджуваних підрозділів доцільно використовувати теорію масового обслуговування (ТМО) [1, с. 20]. Дана теорія за допомогою побудови математичної моделі, що пов'язує задані умови роботи ремонтних підрозділів з характеристиками, що нас цікавлять, описує спроможність ремонтного підрозділу справлятися з завданням щодо підтримання автотехніки в стані готовності до використання. Потоки заявок та обслуговувань АЗ в умовах ООДК є найпростішими, що підтверджується проведеними дослідженнями. На основі обраного математичного апарату була складена методика щодо визначення раціонального складу сил та засобів ремонтного підрозділу ООДК. Дана методика полягає в розрахунку коефіцієнта технічного використання (КТВ) [2, с. 10] техніки за допомогою математичного апарату ТМО. Попередній розрахунок КТВ проводиться до моменту передачі автотехніки на обслуговування цивільним підприємствам з метою оцінки стану системи технічного обслуговування і ремонту АЗ. Дане значення КТВ використовується під час раціоналізації як нормативне – $КТВ_{норм}$. Після передачі АЗ за допомогою математичного апарату ТМО розраховується КТВ для автотехніки, яка залишились на обслуговуванні ремонтного підрозділу при умові, що кількість спеціалістів-ремонтників і засобів ремонту (стаціонарних постів, рухомих майстерень) приймаються на початку розрахунків рівними одиниці. Якщо розраховане значення КТВ менше $КТВ_{норм}$., то змінюються вихідні дані у алгоритмі розрахунку шляхом зміни кількості спеціалістів-ремонтників та кількості засобів ремонту і перераховуються до тих пір, доки визначений кількісний склад ремонтних підрозділів буде за виробничими можливостями забезпечувати $КТВ_{норм}$ АЗ ООДК. Під час розрахунків приймається припущення, що максимальну кількість чоловік, до якої відбувається збільшення особового складу ремонтників, беремо рівну 6 чоловікам. Це пов'язано як з тактико-технічними вимогами до рухомих майстерень МТО-АТ, які використовується в ДПСУ, так і з кількісними характеристиками особового складу стаціонарних постів.

Отже, на основі результатів дослідження процесу функціонування ремонтного підрозділу ООДК був обраний математичний апарат та розроблена методика визначення раціонального складу сил та засобів ремонтного підрозділу в умовах передачі АЗ для обслуговування цивільним організаціям на договірній основі.

Список використаних джерел

1. Литвинов А. Л. Теорія систем масового обслуговування : навч. Посіб. / А. Л. Литвинов ; Харків. Нац. Ун-т міськ. Госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 141 с. ISBN 978-966-695-473-5
2. ДСТУ 2860-94 Надійність техніки. Терміни та визначення. [Чинний від 1996-01-01]. Вид. офіц. Київ : Інститут проблем надійності машин і споруд України, 1996. 27 с.

Михайло ДЕМЕНОК

здобувач вищої освіти 4 курсу ОС «Бакалавр»
спеціальності 252 «Безпека державного кордону»

Науковий керівник:

Віктор ЧМИР

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Національна академія

Державної прикордонної служби України

імені Богдана Хмельницького»

ДОСВІД ЗДІЙСНЕННЯ РЕМОНТУ МАШИН В ХОДІ УКРАЇНСЬКО-РОСІЙСЬКОЇ ВІЙНИ В УКРАЇНІ

Повномасштабна агресія росії проти України стала безпрецедентним випробуванням для системи технічного забезпечення сектору безпеки й оборони України. Через високу інтенсивність боїв, масовані удари високоточною зброєю та швидке надходження техніки НАТО український сектор ремонту та обслуговування змушений був кардинально трансформувати свої підходи до відновлювальних робіт.

Досвід війни в Україні демонструє, що успішність ведення бойових дій напряду залежить від здатності військових підрозділів оперативно відновлювати пошкоджену техніку. При цьому традиційні радянські моделі централізованого ремонту виявилися недостатньо ефективними в умовах «насиченої війни», що вимагає більш гнучкої, мобільної та багаторівневої системи ремонту машин.

Метою доповіді є аналіз практичного досвіду здійснення ремонту машин у ході Українсько-російської війни та визначення ключових викликів і напрямів удосконалення системи технічного забезпечення з урахуванням досвіду країн НАТО [1, с. 22].

Ремонтні роботи в зоні бойових дій організовані за принципом децентралізації. Це передбачає розгортання мобільних груп безпосередньо поблизу фронту, а також використання евакуаційних підрозділів для безпечного

транспортування техніки до основних баз. Ключовою навичкою стало здійснення мінімального відновлення самими екіпажами для негайного продовження виконання завдань [2, с. 18].

Зростання рівня пошкоджень машин є прямим наслідком масованого застосування ворожих засобів ураження. Через інтенсивність експлуатації та порушення логістичних ланцюгів технічний сервіс стикається з гострим дефіцитом запасних частин. Це призвело до вимушеного використання «канібалізації» та покладається на нестандартні, імпровізовані ремонтні рішення. Як результат, необхідний час на ремонт скорочено у 2–3 рази, щоб відповідати вимогам високих темпів операцій [3, с. 34].

Військово-технічний парк України пережив революційні зміни, отримавши десятки типів західних машин (Leopard, Bradley, CV90, MRAP). Це поставило перед системою два головні виклики: забезпечення оригінальними запчастинами та отримання повної технічної документації. Для розвантаження внутрішньої системи ремонту критично важливим стало створення спільних ремонтних хабів на території країн ЄС (зокрема, Польщі, Чехії та Словаччини) [4, с. 28].

Для підвищення ефективності ремонту активно впроваджуються цифрові рішення. Це включає системи дистанційної діагностики та моніторингу стану техніки (Condition-Based Maintenance). Застосування мобільних додатків, 3D-інструкцій та технологій доповненої/віртуальної реальності (AR/VR) дозволяє значно прискорити процес підготовки ремонтного персоналу.

Ключовим елементом стійкості стала модель «Оператор–Технік», де екіпажі навчаються виконувати базовий ремонт самостійно. Значно зросла роль міжнародних тренінгів і сертифікації за стандартами STANAG. Однак, виснаження існуючих кадрів створює гостру необхідність екстреної підготовки нових спеціалістів у максимально стислі терміни.

На основі проведеного дослідження можна зробити наступні висновки:

досвід війни в Україні підтвердив необхідність переходу від централізованої до мобільно-мережевої системи ремонту військової техніки;

найбільш ефективним є багаторівневий підхід: оперативний ремонт силами екіпажів, мобільні ремонтні групи поблизу фронту та капітальне відновлення на спеціалізованих підприємствах;

адаптація стандартів НАТО та створення міжнародних ремонтних кластерів значно підвищують стійкість оборонно-промислового комплексу;

подальший розвиток системи технічного забезпечення має ґрунтуватися на поєднанні цифрових технологій, гнучких логістичних рішень і підготовки кваліфікованого персоналу.

Список використаних джерел

1. NATO Logistics Handbook. Brussels: NATO Standardization Office, 2012.
2. GAO Report: Army Working to Implement Predictive Maintenance. Washington, 2020.
3. Міністерство оборони України. Звіт про досвід технічного забезпечення ЗСУ у ході війни, 2023.
4. Center for European Policy Analysis (CEPA). Repair and Sustainment of Western Military Equipment for Ukraine, 2023.

Богдан КОПЧУК

бакалавр з агроінженерії

Подільський державний університет

Науковий керівник:

Василь БУРДЕГА

канд. техн. Наук, доцент

асистент кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Подільського державного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗНОСУ ЗУБІВ БОРОНИ

Борони – один із базових знарядь ґрунтообробної техніки, що працює в абразивному середовищі. Зуби борони піддаються інтенсивному абразивному та контактному-втомному зносу в процесі обробітку ґрунту, що призводить до частих ремонтно-експлуатаційних витрат і зниження ефективності агрегатів. Основними механізмами зносу є абразія за участі твердих частинок ґрунту, пластична деформація при ударах і контактному-втомне руйнування при циклічних навантаженнях. Вплив кожного механізму визначається складом ґрунту, його вологістю, домішками піску та каменів, режимом роботи (глибина, швидкість руху) та властивостями матеріалу зуба [1, 2].

Ключові фактори, що визначають інтенсивність зносу, – це твердість і ударна в'язкість матеріалу, мікроструктура поверхневого шару, наявність захисних покриттів та геометрія робочої частини. При підвищеній твердості матеріалу абразійна стійкість зазвичай зростає, проте занадто висока твердість супроводжується крихкістю і підвищеним ризиком відколів при ударах об каміння. Тому оптимальна комбінація твердості та в'язкості є критичною для зубів борони [3].

Методи дослідження зносу включають лабораторні абразійні тести (наприклад, за методикою ASTM G65 для сухої абразії циклічного кочення), стандартизовані цикли ударів, а також стендові і польові випробування на реальних

зразках в умовах експлуатації. Лабораторні дослідження дають можливість порівнювати матеріали в контрольованих умовах, тоді як польові тести відображають комплексну дію факторів ґрунту та режимів роботи. Для аналізу механізмів руйнування використовують оптичну і електронну мікроскопію, рентгенівську дифракцію та вимірювання профілю зношення і масових втрат [4].

Результати досліджень показують, що значний ефект дають термообробка та поверхневе зміцнення. Загартування й відпуск дозволяють досягти оптимальної комбінації твердості і в'язкості; цементация, азотування чи борування створюють легкозносоустійкі поверхневі шари. Сучасні методи покриття – наплавлення твердосплавними матеріалами, плазмове напилення керамічних та металокерамічних шарів – значно підвищують ресурси зубів, але потребують оцінки адгезії покриття та економічної доцільності [5, 6].

Геометрія зуба також суттєво впливає на розподіл контактних напружень і, як наслідок, на інтенсивність зносу. Геометрія зношеного зуба змінюється у часі – зменшуються його розміри, змінюється профіль, кути заточування, товщина робочої частини. Дослідження цих змін важливе для прогнозування ресурсу, підбору матеріалів, захисних покриттів та оптимізації конструкції.

Гострі кромки швидше зношуються при абразивному контакті, тому сучасні рішення включають змінні накладки з твердих сплавів, модульні наконечники та оптимізовані кути зрізу, що зменшують локалізовані концентрації напружень. Використання змінних витратних елементів дозволяє замінювати лише зношені частини замість всього зуба, що економічно вигідно [3, 7].

Проблема прогнозування ресурсу зубів вирішується шляхом моделювання зношення з урахуванням параметрів ґрунту, властивостей матеріалу і режимів роботи. Розроблені емпіричні та напіваналітичні моделі дозволяють оцінити масові втрати або втрату геометрії за заданий проміжок часу. Поєднання моделювання з польовими даними дає змогу оптимізувати матеріали і конструкцію для конкретних умов експлуатації [2, 8].

Однак слід враховувати, що геометричні зміни зуба під впливом зносу часто супроводжуються змінами механічних властивостей (наприклад, поверхнева

твердість може зменшуватися через термічні чи деформаційні впливи). Також величезне значення має нерівномірність навантаження на зуби борони у польових умовах – кожен зуб працює в трохи відмінних умовах мікрорельєфу ґрунту. Крім того, аналіз геометрії часто застосовується в конструкторських оптимізаціях – наприклад, корегування профілю зуба з врахуванням зносу для збереження стабільної робочої ширини або оптимального контакту із ґрунтом.

Для зниження зносу зубів борони необхідна комплексна стратегія – вибір матеріалів з оптимальною комбінацією твердості і в'язкості, застосування поверхневих укріплень або покриттів, модульний конструктив знімних наконечників та підбір режимів роботи з урахуванням типу ґрунту. Подальші дослідження мають бути спрямовані на довготривалі польові випробування нових покриттів, економічну оцінку технологій наплавлення і розробку точніших моделей прогнозування зносу для різних ґрунтово-кліматичних умов [1, 5, 8].

Геометричне дослідження зносу зубів борони – це ефективний інструмент, що дає змогу кількісно оцінити втрати матеріалу, локалізувати найбільш піддані зносу ділянки і коригувати конструкцію робочих органів. Поєднання експериментального тестування та цифрового аналізу дозволяє підвищити точність прогнозу ресурсу зубів і створити більш зносостійкі конструкції. Подальші дослідження доцільно зосередити на вивченні взаємодії зносу й зміни жорсткості зубців, а також інтеграції геометричного аналізу з моделюванням зношування в реальному робочому циклі.

Список використаних джерел

1. ASTM G65-16. Standard Test Method for Measuring Abrasion Using the Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus. ASTM International, 2016.
2. Іваненко С. П., Пилипенко М. О. Зносостійкість робочих органів ґрунтообробної техніки. Агроінженерія, 2018, №3, с. 45–58.
3. Brown R., Williams J. Wear and selection of materials for agricultural tools. Journal of Agricultural Engineering, 2015; 12(2): 101–116.

4. Петренко В. І., Ковальчук А. Г. Методи дослідження механізмів зношення у сільськогосподарській техніці. Матеріали конференції «Інновації в агротехніці», 2020, с. 210–218.
5. Smith T., Jones L. Surface treatments for wear resistance of tillage tools. *Surface Engineering*, 2017; 33(4): 279–293.
6. Zhang H., Li X. Hardfacing technologies for agricultural components. *Wear*, 2019; 426–427: 1762–1773.
7. Коваленко Д. С. Конструктивні заходи підвищення ресурсу зубів борони. *Трактори і сільськогосподарські машини*, 2016, №4, с. 12–20.
8. Martínez A., Gómez P. Modelling soil-tool wear: empirical and numerical approaches. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2021; 184.

Олександр ОЛЕНЮК

кандидат технічних наук, доцент
доцент кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Подільського державного університету

Сергій ОЛЕКСІЙКО

асистент кафедри тракторів,
автомобілів та енергетичних засобів

Подільського державного університету

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОСИЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОФІЛЮВАННЯ ГВИНТОВИХ СЕКЦІЙНИХ РОБОЧИХ ЕЛЕМЕНТІВ

Профілювання гвинтових секційних робочих органів є одним із ключових процесів у машинобудуванні, особливо при виготовленні транспортувальних, дозувальних та бурових механізмів. Складна просторова геометрія секцій обумовлює високу чутливість технологічних параметрів до точності формоутворення. Наукове вивчення енергосилових характеристик процесу дозволяє оптимізувати режими виготовлення, знизити питомі енерговитрати та підвищити довговічність інструменту.

Відомо, що вибір методу формоутворення гвинтових секцій залежить від їх геометричних параметрів і умов експлуатації. Новітні дослідження [1] вказують на доцільність використання енергетичних моделей для визначення зусиль при формуванні виробів зі складною геометрією. Однак недостатньо вивчені особливості формування мастильного прошарку та впливу температури на якість профілювання.

Метою дослідження є аналіз і вдосконалення технології профілювання гвинтових секційних деталей із використанням енергетичних та силових моделей

процесу штампування. Для досягнення мети поставлено завдання: теоретично і експериментально дослідити вплив технологічних параметрів на зусилля профілювання, стабільність геометрії та ресурс інструменту.

Формування гвинтових поверхонь характеризується складним напружено-деформованим станом металу. Основна частка енергії витрачається на пластичне зсувне деформування та подолання сил тертя.

$$F_p = \sigma_s \cdot A_d \cdot k_f$$

де σ_s – межа текучості матеріалу; A_d – площа деформованої зони; k_f – коефіцієнт форми.

Матеріал	Зусилля, кН	Температура, °С
Сталь 40Х	25–32	до 180

Критичне перевищення температури понад 180°С призводить до появи мікротріщин. Оптимальна товщина мастильного прошарку визначається як:

$$B_{\min} = k \cdot \frac{Z_{\max}}{2}$$

де k – коефіцієнт рівномірності (1,5–2,5); $Z_{\max}$ – зазор.

Конструкція оснащення дозволяє регулювати зазори 0,05–0,2 мм.

При профілюванні сталі 40Х зусилля становило 25–32 кН. Оптимальні параметри для сталі 40Х: зусилля 25–32 кН, швидкість 0,15 м/с, товщина мастила не менше 0,1 мм.

Комбіновані штампи і температурний контроль забезпечують підвищення точності гвинтової поверхні та довговічність обладнання.

Запропонований підхід дозволяє розробити нові технології для сучасного машинобудування.

Список використаних джерел

1. Tran, N.-T., & Nguyen, D.-M. (2023). Analysis of flow characteristics of cylindrical and helical type multi-lobe roots blower. EUREKA: Physics and Engineering, (1), 67-75. <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2023.002578>
2. Kim SH, Joo HJ, Choi W. Structural Behavior of High Durability FRP Helical Screw Piles Installed in Reclaimed Saline Land. Polymers (Basel). 2024 Jun 19;16(12):1733. Doi: 10.3390/polym16121733. PMID: 38932083; PMCID: PMC11207665.

Дмитро ПОЛЩУК

канд. техн. Наук,

Заклад вищої освіти

«Філія Класичного приватного
університету в місті Кременчук»

ПЕРЕВІРКА ТА РЕМОНТ ГІДРОКОМПЕНСАТОРІВ У СИСТЕМІ ГАЗОРОЗПОДІЛУ

Гідравлічні регулятори зазору (ГРЗ), широко відомі як гідрокомпенсатори (ГК), є невід’ємним компонентом сучасних двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ), забезпечуючи автоматичне підтримання нульового теплового зазору в системі газорозподілу (ГРМ). Їхнє коректне функціонування є критичним для збереження ресурсу, потужності та екологічних показників двигуна. Несправності ГК, які найчастіше проявляються акустичним цокотом, можуть бути спричинені як забрудненням оливної системи та невідповідною в’язкістю оливи, так і критичним механічним зносом. Ця робота систематизує світовий досвід діагностики та ремонту ГК. Ключовий метод об’єктивної оцінки їхнього технічного стану – кількісне тестування швидкості витоку плунжера (Leak-DownRateTest), що дозволяє диференціювати несправність, спричинену забрудненням, від несправності, викликаной зносом. Окремо аналізується вплив конструкційних особливостей (наприклад, АФМ-ліфтери) та якості оливи (особливо аерації) на системну надійність. Системний підхід до діагностики та ремонту є необхідним у світлі зростаючої складності саморегульованих систем ГРМ.

Гідрокомпенсатор функціонує як невеликий гідроциліндр, розмір якого змінюється при подачі моторної оливи. Цей механізм ефективно компенсує зазор між штоком клапана та кулачком розподільчого валу.

Ключовим принципом роботи є механізм блокування. Олива подається у внутрішню порожнину ГК через спеціальні канали. Коли кулачок розподільчого вала не створює тиску, система змащення двигуна наповнює компенсаційну камеру

через зворотний (зазвичай кульковий) клапан. Коли кулачок починає діяти на штовхач, тиск у компенсаційній камері миттєво зростає, що змушує зворотний клапан закритися. Оскільки рідина (моторна олива) є практично нестисливою, плунжер і корпус ГК тимчасово стають єдиним жорстким блоком, забезпечуючи точне передавання зусилля для відкриття клапана. Під час цього циклу відбувається контрольований мінімальний витік оливи (т. зв. «bleed-down») для забезпечення нульового зазору та запобігання «зависанню» клапана.

Надійна робота ГК безпосередньо залежить від фізико-хімічних властивостей моторної оливи. Мінімальні технологічні зазори в плунжерній парі обумовлюють необхідність використання маловязких олиव високої якості, таких як синтетичні або напівсинтетичні, класів SAE 0W40, 5W40, 10W30 та подібних.

Чистота оливи є критичним фактором. Забруднення оливної магістралі або безпосередньо кульового клапана гідрокомпенсатора часто спричиняє несправності. Наявність абразивних частинок призводить до прискореного зносу плунжерної пари, порушуючи гідравлічний затвор, що, своєю чергою, призводить до надмірного витоку оливи.

Особливе значення має стан аерації оливи (утворення піни). Хоча аерація може бути спричинена підвищенням рівнем оливи або проникненням води в систему, її механізм впливу на ГК є глибоко деструктивним. Коли олива насичена повітрям, вона стає частково стисливою. У такому стані ГК не може миттєво перетворитися на жорсткий елемент під час підйому клапана. Це призводить до фактичного збільшення клапанного зазору та виникнення характерного стуку. Більш того, у складних системах (наприклад, AFM/DOD), аерація може бути прямою причиною механічного руйнування внутрішніх фіксуючих штифтів, що призводить до повного колапсу ГК. Таким чином, контроль якості оливи та запобігання її аерації є фундаментальним заходом для підтримання надійності ГРМ [1].

Найпоширенішим симптомом несправності ГК є акустичний цокіт або дзвін, що виходить з-під кришки клапанів. Частота і вираженість цього звуку можуть змінюватися, посилюючись зі зростанням обертів двигуна. Первинна диференціальна

діагностика ґрунтується на умові виникнення стуку – на холодному чи гарячому двигуні і приведена у таблиці 1.

Таблиця 1 – Диференційна діагностика стуку ГК залежно від температури

Умова стуку	Ймовірна причина	Механізм відмови	Наслідок/Корекція
Холодний двигун (одразу після старту/стоянки)	Підвищена в'язкість оливи	Олива повільно заходить у порожнину ГК, повітря не витісняється; ефект дренажу оливи	Стук часто зникає після прогріву; можливе застосування низьков'язких олив
Гарячий двигун (після прогріву)	Критичний знос плунжерної пари/Недостатня в'язкість оливи	Надмірний витік оливи через збільшені зазори (втрата здатності утримувати тиск)	Свідчить про необхідність заміни ГК, підтвердження Leak-Down Test
Постійний, інтенсивний	Сильне забруднення або заклинювання	Поршень заклинив, або зворотний клапан залишається відкритим, що спричиняє постійний зазор	Потребує негайного демонтажу, чищення або заміни
При великих навантаженнях/Високих обертах	Аерація оливи (утворення піни)	Стисливість спіненої оливи, що призводить до нездатності ГК утворити жорсткий блок.	Перевірка рівня оливи, системи вентиляції картера та стану олив

Основним механізмом відмови гідрокомпенсаторів є втрата гідравлічного затвора. Найбільш поширеною причиною стуку на гарячому двигуні є знос плунжерної пари. Це відбувається внаслідок природного зносу або впливу абразивних частинок через брудну оливу, що збільшує технологічні зазори. Таке збільшення зазорів призводить до неконтрольовано швидкого витіку оливи під

навантаженням (тобто надто швидкого Leak-DownRate), що, своєю чергою, унеможлиблює підтримання нульового зазору.

Іншою поширеною причиною є забруднення та заклинювання. Накопичення шламу або відкладень може обмежити рух плунжера або, що ще гірше, засмітити зворотний клапан у відкритому положенні. Коли кульковий клапан залишається відкритим, олива вільно витікає з компенсаційної камери, спричиняючи цокіт. Заклинювання плунжера через забруднення також може призвести до надто повільного витоку оливи. Нарешті, причини відмов можуть бути більш комплексними, особливо у складних двигунах, що використовують Системні відмови (AFM/DOD), як-от GMActiveFuelManagement (деактивація циліндрів). Серед таких несправностей – механічний колапс або заклинювання ліфтера, або пошкодження внутрішніх фіксуєчих штифтів. Встановлено, що однією з головних причин пошкодження цих штифтів є довготривала аерація оливи, яка робить рідину стисливою та спричиняє надмірні ударні навантаження на внутрішні компоненти ГК.

Перевірка ГК не обмежується лише їхнім власним станом. Необхідно провести ретельний візуальний огляд розподільчого вала, рокерів та роликів на предмет надмірного зносу. Швидкий або нерівномірний знос ГК часто є наслідком інших проблем у системі змащення [2].

Аналіз функціонування та несправностей гідрокомпенсаторів доводить, що ефективна діагностика виходить за межі лише аудіального аналізу. Критично важливим є диференціювати несправності, викликані факторами, що піддаються корекції (такими як в'язкість або забруднення оливи, що викликає стукіт на холодному двигуні), від незворотного механічного зносу (що спричиняє стукіт на гарячому двигуні).

Список використаних джерел

1. Service Bulletin. TECHNICAL. URL: <https://static.nhtsa.gov/odi/tsbs/2023/MC-10232139-0001.pdf> (дата звернення 05.10.2025).
2. BMW Tuning. URL: <https://bmwtuning.co/bmw-n52-lifter-tick/> (дата звернення 05.10.2025).

Олександр РАШОВСЬКИЙ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Подільського державного університету

Науковий керівник:

Олександр ОЛЕНЮК

кандидат технічних наук, доцент

доцент кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Подільського державного університету,

Piotr PENKALA

доктор з інженерії, доцент

директор Інституту технічних наук

та авіації Державної академії

прикладних наук у Хелмі,

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РЕЖИМУ НАПЛАВЛЕННЯ НА МЕХАНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЕТАЛЕЙ

Наплавлення є одним з найефективніших методів відновлення зношених деталей машин та механізмів, а також нанесення функціональних покриттів з особливими властивостями. Якість наплавленого шару та його експлуатаційні характеристики в значній мірі визначаються параметрами режиму наплавлення, які впливають на формування структури металу, його хімічний склад та механічні властивості.

Механічні характеристики наплавленого металу, зокрема твердість, міцність та зносостійкість, є ключовими факторами, що визначають довговічність відновлених деталей. Правильний вибір параметрів режиму наплавлення дозволяє отримати наплавлений шар з оптимальними властивостями при мінімальних затратах матеріалів та енергії.

Сила струму є одним з найважливіших параметрів, що визначає глибину проплавлення основного металу та продуктивність процесу наплавлення [1]. При ручному дуговому напавленні зазвичай застосовують струм силою 160-250 А для електродів діаметром 4-5 мм. Збільшення сили струму призводить до підвищення глибини проплавлення основного металу, збільшення частки основного металу в наплавленому та зміни хімічного складу наплавленого шару. Завищене значення струму може приводити до окрихтування ділянок структури поверхні, а занижений струм – до появи несплавів.

Напруга дуги впливає на ширину наплавленого валика та стабільність процесу наплавлення [2]. Оптимальні значення напруги для більшості видів наплавлення становлять 22-26 В. Збільшення напруги при незмінній силі струму веде до збільшення ширини валика, покращення розтікання металу та зменшення глибини проплавлення. Збільшення напруги дуги веде до розбризкування рідкого металу і утворення пор.

Швидкість наплавлення значно впливає на формування валика та якість наплавленого шару. Оптимальні швидкості для більшості застосувань знаходяться в діапазоні 20-40 м/год. При малих швидкостях дуга виштовхується на поверхню, зменшується проплавлення, а при високих швидкостях значно зменшується провар основного металу. Малі і великі швидкості наплавлення приводять до непровару і поганої якості наплавлених швів.

Глибина проплавлення основного металу є критичним параметром, що визначає частку основного металу в наплавленому. Цей показник коливається у широких межах: при звичайних умовах дугового наплавлення частка основного металу становить 0,3-0,55. Чим менше глибина проплавлення, тим менше частка основного металу в наплавленому, і хімічний склад наплавленого металу буде ближче до присадного.

Твердість є одним з найважливіших показників якості наплавленого шару [3]. У більшості випадків у наплавлених низьколегованих композиціях спостерігається пропорційна залежність між твердістю та зносостійкістю. Твердість матеріалу

підвищується зі збільшенням вмісту вуглецю, і тому більш зносостійким виявляється метал, склад якого відповідає середньолегованим сталям.

Типові значення твердості для різних видів наплавлення варіюються від 250-320 HB для стандартних композицій до 500 HB для спеціальних борвмісних покриттів. Наплавлений метал здатний до зміцнення під впливом ударних навантажень, а твердість може зростати до 500 HB, що підвищує стійкість проти абразивного спрацювання.

Міцність з'єднання наплавленого та основного металу залежить від глибини проплавлення основного металу, якості формування перехідної зони та хімічної сумісності металів. Метал перехідної зони через великі швидкості охолодження металу шва має підвищену схильність до утворення холодних тріщин через велику неоднорідність хімічного складу металу і відповідно великі різниці коефіцієнтів лінійного розширення. Чим менша глибина проплавлення, тим менше втрачається міцність деталі, оскільки зменшується зона з підвищеною схильністю до утворення холодних тріщин.

Зносостійкість наплавленого шару визначається його твердістю та структурою. Для різних умов експлуатації потрібні різні підходи: абразивне зношування потребує високої твердості, яка забезпечується матеріалами з підвищеним вмістом вуглецю, хрому, марганцю, вольфраму; корозійне зношування досягається легуванням хромом у кількості більше 12%.

Вибір режимів наплавлення залежить від необхідної товщини наплавленого шару. При товщині більше 5 мм наплавку бажано вести в два шари для зменшення глибини проплавлення. Для забезпечення стабільного горіння дуги параметри повинні бути мінімальними, але достатніми. Сила струму і напруга повинні бути мінімальними, але забезпечувати стабільне горіння дуги.

Оптимальна частка основного металу в наплавленому становить 0,1-0,2 для забезпечення найкращих властивостей покриття. При цьому зменшується вплив основного металу на хімічний склад наплавленого, хімічний склад наближається до присадного матеріалу, і відпадає необхідність у накладенні другого шару.

Для ручного дугового наплавлення рекомендуються наступні режими: сила струму 160-250 А, напруга дуги 22-26 В, діаметр електрода 4-5 мм, швидкість наплавлення 20-40 м/год, полярність – постійний струм зворотної полярності. При наплавленні використовується постійний струм зворотної полярності, застосовуючи невелику силу струму, а товщина наплавленого шару рідко буває менше 3 мм.

Неправильний вибір параметрів режиму може призводити до виникнення різних дефектів. Серед механічних властивостей наплавленої деталі найбільший інтерес представляють твердість, зносостійкість та втомна міцність, оскільки зносостійкість та втомна міцність головним чином визначають ресурс деталей, а твердість пов'язана з іншими механічними властивостями й при цьому найбільш легко визначається у промислових умовах.

Контроль якості наплавлення включає візуальний контроль формування валиків, вимірювання твердості наплавленого шару, контроль глибини проплавлення та металографічні дослідження структури. Електричні режими мають одне з важливих значень, що впливає на структуру та властивості отриманого наплавленого шару, а також наявність дефектів.

Параметри режиму наплавлення чинять визначальний вплив на механічні характеристики наплавленого металу. Твердість наплавленого металу залежить від хімічного складу, структури та швидкості охолодження, при цьому існує пропорційна залежність між твердістю та зносостійкістю для низьколегованих композицій. Оптимальна частка основного металу в наплавленому забезпечує найкращі механічні властивості покриття при мінімальному впливі основного металу на хімічний склад. Для забезпечення високої якості наплавлення необхідно застосовувати мінімальні, але достатні для стабільного горіння дуги параметри режиму, що дозволяє мінімізувати глибину проплавлення та зберегти міцність деталі. Правильний вибір режимів наплавлення в поєднанні з відповідними наплавлювальними матеріалами дозволяє отримати покриття з широким діапазоном механічних властивостей залежно від призначення деталі.

Список використаних джерел

1. Di Bella G., Favaloro F., Borsellino C. Effect of Process Parameters on Friction Stir Welded Joints between Dissimilar Aluminum Alloys: A Review. Metals. 2023. Vol. 13, no. 7. P. 1176. URL: <https://doi.org/10.3390/met13071176>
2. Effect of welding parameters on microstructure and mechanical properties of dissimilar AISI 304/ductile cast iron fusion welded joints / M. El-Shennawy et al. Scientific Reports. 2024. Vol. 14, no. 1.
URL: <https://doi.org/10.1038/s41598-024-70050-0>.
3. Kumar P, Singh RKR, Sharma SK. Effect of welding parameters on bead characteristics and mechanical properties of wire and arc additive manufactured inconel 718. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science. 2022;237(7):1668-1691.
Doi:10.1177/09544062221133035

Любомир РОМАНКО

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Павло ФЕДІРКО

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Pawel LONKWIC

доктор з інженерії

завідувач кафедри механіки та

конструювання машин

Державної академії прикладних наук у Хелмі

ЗАСТОСУВАННЯ ПЛАЗМОВОГО НАПЛАВЛЕННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ШНЕКОВИХ МЕХАНІЗМІВ

Питома вага переміщення вантажів з використанням шнекових механізмів як самостійних засобів, так і у складі сучасних потокових технологічних ліній, сільськогосподарських, дорожніх, будівельних, переробних та інших машин, складає близько 40%. Широке застосування шнекові транспортуючі конвеєри знайшли у сільському господарстві, зокрема під час транспортування зернових культур, абразивних порошкових сумішей різних фракцій та щільності, сипучих матеріалів та хімічних порошкоподібних елементів [1].

Основною характеристикою роботи гвинтового транспортера є продуктивність. Вона залежить від геометричних та конструктивних параметрів шнека, числа його обертів і характеристик транспортованого матеріалу.

Одним з основних конструктивних параметрів, який значно впливає на продуктивність транспортера, є діаметр гвинта. Його зменшення в процесі експлуатації призводить до збільшення зазорів між торцем пера та стінкою жолоба, що різко зменшує продуктивність процесу транспортування.

На рис. 1 представлені графіки продуктивності шнекового живильника сепаратора-ворохоочишувача СВС-25 залежно від частоти обертання і діаметра гвинта, що підтверджують зазначене вище [2].

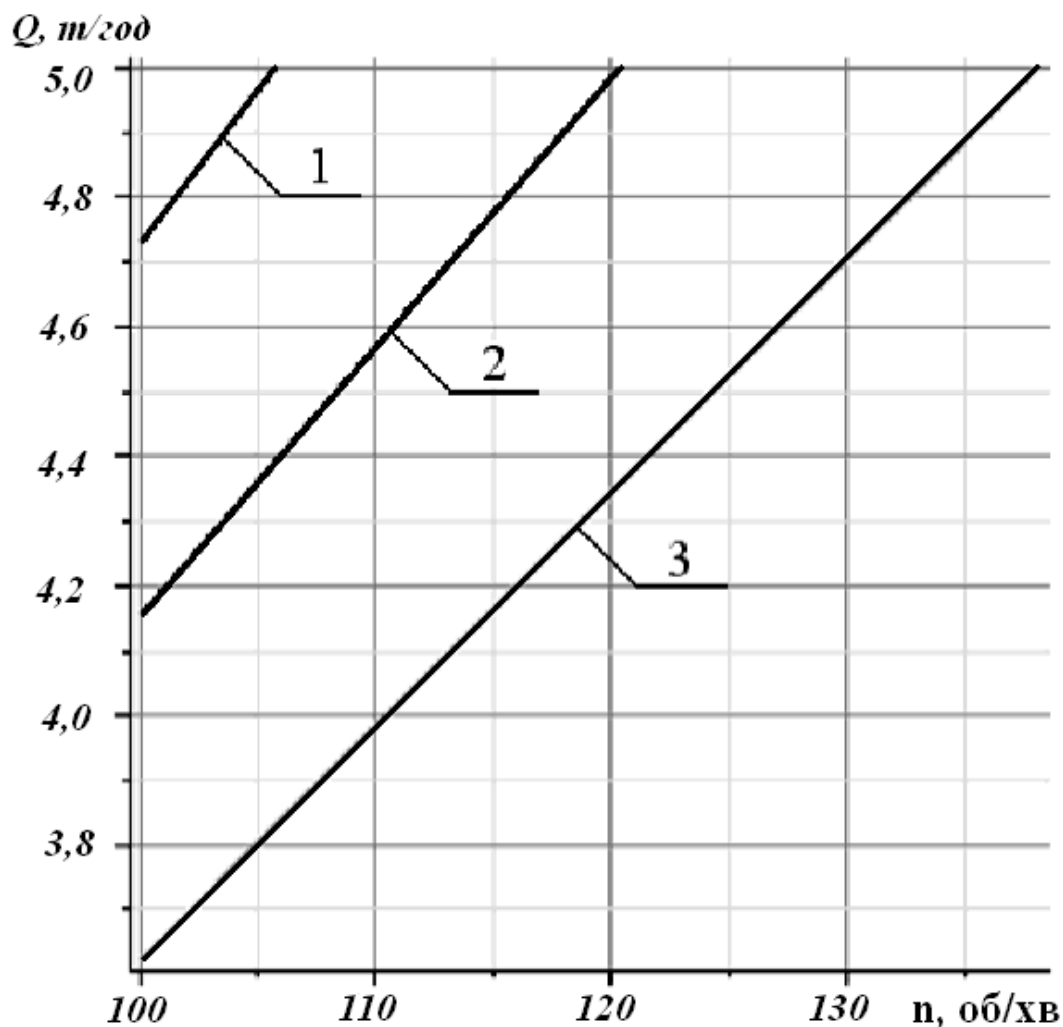


Рис.1. Графіки продуктивності шнекового живильника залежно від частоти обертання гвинта:

1 – при діаметрі гвинта 160 мм; 2 – при діаметрі 150 мм;
3 – при діаметрі 140 мм.

Для відновлення та зміцнення робочих поверхонь деталей машин та механізмів АПК активно застосовують газотермічні технології з нанесення покриттів, зокрема плазмове напилення. Крім того, одним з перспективних та економічно вигідних шляхів збільшення ресурсу відновлюваних деталей є розробка функціональних композитних покриттів та їх нанесення на робочі поверхні деталей сільськогосподарських машин [1].

Часто ефективному використанню плазмових технологій перешкоджає нестача систематизованої інформації про закономірності та можливості відповідних технологічних процесів, що ускладнює вибір оптимальної технології для вирішення конкретних виробничих завдань, призначення режимів обробки, прогнозування результатів.

Суть процесу плазмового наплавлення полягає у нанесенні покриття з розплавленого присадного порошкового або дротяного матеріалу на металеву поверхню з використанням у якості джерела тепла стиснутої дуги, що горить між електродом плазмотрону та виробом. Основною метою плазмового наплавлення є виготовлення нових деталей і виробів зі спеціальними зносо- та корозійностійкими властивостями поверхні, а також відновлення розмірів зношених і бракованих деталей за рахунок нанесення покриттів з високою щільністю і міцністю зчеплення з виробом, що працюють в умовах високих динамічних, знакозмінних навантажень й іншого впливу.

Тип наплавленого металу вибирається, перш за все, з урахуванням умов експлуатації робочих поверхонь відновлюваних деталей. Від властивостей основного та наплавленого матеріалу, перерізу, габаритів та конфігурації оброблюваних виробів та низки інших факторів залежить вибір оптимального технологічного процесу режиму наплавлення.

Аналіз експерименту та отриманих результатів. Найбільш широке застосування процес плазмового наплавлення знайшов для нанесення покриттів типів D, F, G, H, N, Q, P, а також, мідно-нікелевих сплавів, алюмінієвих бронз та ін. Це обумовлене тим, що у порівнянні з аналогами – газополуменевим та електродуговим наплавленням у середовищі вуглекислого газу та аргону даний процес має такі переваги: мінімальна частка основного металу в наплавленому, можливість забезпечення необхідного складу, структури та властивостей вже в першому шарі наплавленого металу; висока стабільність та стійкість дуги; незначний припуск на подальшу механічну обробку; висока продуктивність наплавлення; збільшений зазор між виробом та соплом плазмотрону знижує вимоги до точності його підтримки, полегшує спостереження за наплавленням та забезпечує

свободу маневру з присадним матеріалом; мінімальне зношування вольфрамового електрода; можливість ведення процесу на постійному струмі зворотної полярності підвищує якість і стабільність властивостей наплавленого шару за рахунок ефекту катодного очищення; при наплавленні порошковими матеріалами отримання наплавленого металу практично будь-якого типу відносно невеликої номенклатури вихідних порошків (шляхом їх змішування), точно задана глибина проплавлення і товщина покриття, висока рівномірність по товщині шару; малі залишкові напруги та деформації; високий рівень механізації та автоматизації технологічного процесу.

За потужністю та продуктивністю плазово-порошкове наплавлення умовно можна розділити на три варіанти [2]: плазове наплавлення на струмах менше 100 А, плазове наплавлення на струмах від 100 до 300 А і плазове наплавлення високої потужності (на струмах більше 300 А).

Універсальність процесів плазового наплавлення забезпечується великою кількістю регульованих параметрів.

Основні параметри режиму: полярність дуги, величина струму, діаметр плазмоутворюючого сопла, швидкість переміщення (у тому числі швидкість і вид поперечних коливань), витрата плазмоутворюючого газу, відстань від зрізу сопла до виробу.

Додаткові параметри: витрата захисного газу, витрата транспортуючого газу, швидкість подачі або витрата присадного матеріалу, геометричні розміри і розташування робочих елементів плазмотрону, стан оброблюваного виробу (температура, стан поверхні, положення в просторі, точність і жорсткість закріплення), збереження всіх встановлених параметрів, включаючи точність позиціонування плазмотрона у просторі.

Область застосування одержаних результатів. У таблиці 1 наведено приклад впливу параметрів режиму деякі характеристики наплавлення.

При наплавленні сплавів на основі нікелю та кобальту великий вплив на їх властивості має кількість основного металу в наплавленому. При глибокому проплавленні основного металу можливе помітне зниження твердості.

Таблиця 1. – Вплив режимів наплавлення на твердість наплавленого шару

Порошок	Кількість шарів	I, А	V_n , м/хв	P, кг/год	Глибина проплавлення, мм	Висота наплавлення, мм	Твердість HRC
ПР-Н70Х17С4Р4	1	100	6	3,2	-	4,6	58
	1	145	6	3,2	4,5	3,1	41
	1	100	11	3,2	-	6,2	60
	1	145	11	3,2	14	1,8	46

При напавленні на прямій полярності ефективну потужність Q_e та ефективний радіус R_q стиснутої дуги можна визначити як:

$$Q_e = (0,5 \dots 0,55) I_d U_d,$$

$$R_q \approx 1,4 d_c,$$

де I_d і U_d – струм і напруга стиснутої дуги; d_c – діаметр плазмоутворюючого сопла при $d_c = 2 \dots 6$ мм.

Плазмова наплавка має такі важливі переваги, як висока продуктивність, широка можливість легування шарів наплавлення, великий діапазон регулювання введення теплоти в основний і наплавний метали, можливість застосування будь-яких наплавних металів.

Таким чином, перераховані позитивні сторони способів плазмового наплавлення не тільки суттєво розширюють технологічні можливості їх застосування, але і дозволяють отримувати значний економічний ефект за рахунок наплавлення шарів з мінімальною глибиною проплавлення та збереження початкових фізико-механічних властивостей при меншій кількості наплавленого металу; виготовлення деталей з низьковуглецевих сталей із поверхнями, зміцненими твердими сплавами, замість дорогих легованих сталей; застосування зносостійких порошкових сплавів, що підвищують термін служби напавлених деталей; зменшення припуску на механічну обробку.

Список використаних джерел

1. Мельник О.П., Добранський С.С. Особливості умов роботи шнеків та фактори, які визначають їх зносостійкість. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції «Продовольча та екологічна безпека в умовах війни та повоєнної відбудови: виклику для України та світу». МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 25 травня 2023 р. С. 197-200.

2. Куликівський В.Л. Дослідження зміни конструктивних параметрів гвинтових транспортерів зерноочисних машин. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Житомир: ЖНАЕУ, 2009 С. 323-328.

Валерій ЖОВТОБРЮХ

канд. техн. Наук,

Заклад вищої освіти

«Філія Класичного приватного
університету в місті Кременчук»

РЕМОНТ СИСТЕМИ ЗМІНИ ФАЗ ГАЗОРОЗПОДІЛУ (VVT, VANOS, VTEC)

Системи VVT (Variable Valve Timing) є невіддільною частиною сучасних двигунів внутрішнього згоряння. Їхня розробка була обумовлена необхідністю забезпечення оптимальних робочих характеристик у всьому діапазоні швидкостей обертання двигуна. На відміну від традиційних двигунів із фіксованим профілем кулачків, VVT-системи можуть динамічно змінювати кут відкриття та закриття клапанів. Це регулювання не лише підвищує потужність, але й суттєво покращує паливну економічність та мінімізує рівень шкідливих викидів.

Принципи керування VVT ґрунтуються на використанні гідравлічної енергії, яка контролюється електронним блоком керування двигуном (ECU або PCM). Основними керуючими елементами є соленоїдні клапани (Oil Control Valve, OCV), які отримують сигнал у вигляді широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). ШІМ-сигнал дозволяє ECU точно регулювати відкриття соленоїда, спрямовуючи тиск моторної оливи до гідравлічних актуаторів (фазерів), які фізично змінюють кутове положення розподільчого вала. Ключові компоненти системи включають: фазери (з ротором, статором і лопатками), соленоїдні клапани, датчики положення колінчастого і розподільчого валів, та блок ECU [1].

У світовій практиці сформувалися кілька домінуючих архітектур VVT, які, попри різні назви, мають спільну гідравлічну природу, що визначає їхні вразливості. Системи VVT-i (Toyota) та VANOS (BMW) використовують концепцію безперервної зміни фаз (Continuous VVT), де кут фазування змінюється плавно. На противагу цьому, система VTEC (Honda) історично функціонує за принципом перемикання профілю кулачка, забезпечуючи дискретну зміну підйому клапана.

Критично важливим є усвідомлення того, що всі ці системи, незалежно від їхньої складності, є гідравлічно керованими. Це означає, що якість та чистота моторної оливи є єдиним найбільш визначальним фактором їхньої надійності. Засмічення каналів або деградація мастила призводить до нездатності соленоїдів точно та швидко контролювати потік, викликаючи системні помилки, такі як «повільна реакція» (SlowResponseDTCs).

У таблиці 1 представлена систематизація ключових відмінностей між основними архітектурами VVT та їхніми типовими точками відмови.

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз архітектур VVT, VANOS та VTEC [2-4]

Параметр	VVT-i (Toyota/Загальний VVT)	VANOS (BMW)	VTEC (Honda)
Принцип керування	Безперервна зміна фаз (Continuous VVT)	Безперервна зміна фаз (Single/Double VANOS)	Перемикання профілю кулачка (Discreet timing/lift)
Керуючий клапан	Oil Control Valve (OCV) / Соленоїд VVT	Соленоїд VANOS	Шпульний Клапан (Spool Valve)
Робоче середовище	Моторна олива під тиском	Моторна олива під тиском	Моторна олива під тиском
Типова несправність	Засмічення OCV, знос фільтра	Знос ущільнень фазера (M54), відмова соленоїда (N52)	Відмова датчика тиску, витік через прокладки, засмічення клапана
Діагностична особливість	Активний тест OCV	Перевірка механічного люфту фазера, заміна ущільнень	Тест електрики та тиску оливи

Відмова системи VVT ірідко є раптовою, часто вона прогресує, проявляючись через характерні клінічні ознаки. До найбільш поширених симптомів належить нерівний холостий хід (rough idles), який може бути постійним або з'являтися лише після прогрівання двигуна. Типовим прикладом є відчутна втрата крутного моменту, особливо на низьких обертах (до 3000 об/хв), що часто діагностується на двигунах

BMW54 зі зношеними ущільненнями VANOS. Ці проблеми зазвичай супроводжуються підвищеною витратою палива.

Ключовим показником, однак, залишається активація індикатора CheckEngineLight (CEL), що свідчить про реєстрацію діагностичного коду (DTC) електронним блоком керування.

Накопичення шламу та твердих відкладень у моторі є основним фактором, що призводить до засмічення тонких масляних каналів і, як наслідок, до відмови OCV та фазерів. Для двигунів, які постраждали від неправильного обслуговування, може бути необхідна процедура промивання двигуна (EngineFlush).

Промивання двигуна – це процес, під час якого в систему заливається спеціально розроблений хімічний склад після зливу старої оливи. Двигун працює на холостому ході, дозволяючи хімікатам розчинити та суспендувати відкладення та шлам, що прилипили до внутрішніх стінок. Після цього хімічна речовина разом із забрудненою оливою повністю зливається, готуючи двигун до заливання свіжого мастила. Сучасні присадки, що використовуються в оливах та промивках, містять детергенти та дисперсанти, які допомагають запобігти агрегації забруднень і нейтралізувати кислоти.

Слід враховувати, що промивання може мобілізувати великі частки шламу. Це створює ризик їх потрапляння та блокування сітчастих фільтрів, які захищають соленоїди. 1 Тому, якщо застосовується EngineFlush, технічні фахівці мають забезпечити подальшу перевірку та заміну цих критично важливих фільтрувальних елементів.

Збій системи DoubleVANOS, поширеної на двигунах BMW52TU та M54, є хрестоматійним прикладом того, коли відмова спричинена не експлуатаційною помилкою, а конструктивним матеріалознавчим недоліком. Заводські ущільнювальні O-кільця, виготовлені з Buna, мають обмежену термохімічну стійкість і втрачають еластичність вже через 32 000 кілометрів (20 000 миль). Ця деградація призводить до критичного гідравлічного витоку, оскільки поршні фазера не можуть утримувати тиск оливи. Результатом є низький крутний момент на низьких обертах та загальне зниження продуктивності.

Оскільки BMW пропонує лише дорогі відновлені вузли з тими самими вразливими ущільненнями, світовий досвід ремонту полягає у застосуванні модернізованих ремкомплектів (наприклад, BeisanSystemsBS001). Ці комплекти замінюють оригінальні Buna кільця на більш стійкі матеріали, такі як Viton або Teflon. Це кардинально підвищує довговічність VANOS, усуваючи першопричину збою. Під час ремонту рекомендована одночасна заміна прокладок клапанної кришки та прокладки самого вузла VANOS.

Діагностика та ремонт систем зміни фаз газорозподілу вимагають глибокого розуміння їхньої гідравлічної природи. Аналіз світового досвіду показує, що більшість несправностей VVT, VANOS та VTEC мають гідравлічне або матеріалознавче походження. Стан моторної оливи прямо впливає на здатність системи функціонувати.

Список використаних джерел

1. Variable Valve Timing (VVT): How does it work? Idolz. URL: <https://www.idolz.com/en/variable-valve-timing/>(дата звернення 05.10.2025).
2. How To Test and Replace A VTEC Solenoid Valve P1259 P2648 P2649 Youtube. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=xS6WHPyGS0Y>(дата звернення 05.10.2025).
3. Effects of Dirty Oil and Other Issues on Newer Cars with Variable Valve Timing Solenoids. Auto Repair Shop in Madison, TN. URL: <https://rivergatemuffler.com/2018/08/effects-of-dirty-oil-and-other-issues-on-newer-cars-with-variable-valve-timing-solenoids/>(датазвернення 05.10.2025).
4. VVT Solenoid Issues – Everything You Need to Know. Newparts. URL: <https://newparts.com/blog/vvt-solenoid-issues-everything-you-need-to-know>(датазвернення 05.10.2025).

СЕКЦІЯ 4

НАДІЙНІСТЬ МАШИН MACHINE RELIABILITY

Віталій БОНЧИК

канд. техн. Наук, доцент

доцент кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Pawel LONKWIC

доктор з інженерії,

завідувач кафедри механіки та

конструювання машин Державної академії

прикладних наук у Хелмі

АНАЛІЗ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ТРАНСМІСІЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ АГРЕГАТІВ

Експлуатаційний досвід використання сільськогосподарських агрегатів показує, що їх надійність часто є недостатньою для сучасних виробничих вимог. Найбільший вплив на працездатність машини мають базові елементи трансмісії, які визначають її ресурс, адже саме вони зазнають значних динамічних навантажень і стають причиною відмов. Існуючі методики проектних розрахунків не забезпечують необхідної точності при оцінюванні довговічності деталей, що знижує ефективність прогнозування. Тому підвищення ресурсу сільськогосподарських агрегатів можливе лише за умови глибокого аналізу процесів зношування і втомного руйнування основних елементів. Такий підхід дозволяє формувати науково обґрунтовані рекомендації для вдосконалення конструкцій та технологій виготовлення машин.

Суттєвою проблемою є те, що низка трансмісійних деталей має ресурс, який не відповідає сучасним вимогам, а їхній ремонт та обслуговування відзначаються високою трудомісткістю. Відмови під час роботи можуть стати причиною аварійних ситуацій, що підтверджує необхідність виявлення закономірностей їх виникнення.

У цьому контексті особливе значення має створення методів прискореної оцінки надійності елементів трансмісії, що дозволить оперативно виявляти слабкі місця та визначати оптимальні шляхи підвищення довговічності за умов мінімальних витрат у процесі експлуатації.

Дослідження вітчизняних і зарубіжних науковців свідчать, що підвищення надійності машин може здійснюватися у двох основних напрямках: шляхом закладання більш високого ресурсу в процесі конструювання та технологічної підготовки, а також завдяки зменшенню частки виробничих дефектів. У цьому зв'язку важливим завданням є моделювання довговічності деталей залежно від конструктивних і технологічних параметрів. Отримання достовірної інформації щодо рівня надійності до запуску машини у серійне виробництво дає змогу своєчасно вносити корективи у процес конструювання та виготовлення. Ефективним засобом для цього є розробка нових методик прискорених випробувань, які дозволяють не лише визначати рівень надійності, але й перевіряти прогностичні розрахунки.

Оцінювання ймовірності безвідмовної роботи механічних систем із послідовною структурою на етапі проектування стикається з проблемою великої кількості елементів. Для розрахунку потрібні дані щодо кожного елемента, що часто є практично неможливим. Тому важливим є пошук методів, які б дозволяли визначати надійність складних систем на основі вибіркового даних по окремих елементах. Це має прикладне значення, оскільки спрощує процес контролю і робить його більш економічним.

Підвищення надійності трансмісій повинно здійснюватися з урахуванням економічної доцільності. Це означає необхідність пошуку оптимального співвідношення між додатковими витратами і приростом довговічності.

Для цього варто застосовувати багатокритеріальні підходи до оптимізації, які враховують не лише ресурсні, але й економічні показники. Забезпечення нормативної довговічності трансмісійних вузлів можливе за рахунок підвищення зносостійкості та опору втомним руйнуванням.

На основі проведених досліджень було запропоновано новий метод вибіркової оцінки надійності трансмісій за характеристиками ключових елементів. Він дозволяє здійснювати контроль на основі меншого обсягу даних у порівнянні з традиційними методиками. Крім того, результати статистичного аналізу випробувань шліцьової цапфи колісного редуктора дали змогу вдосконалити прогнозування ресурсу шліцьових з'єднань. Врахування нерівномірності розподілу навантаження по зубцях дозволило узгодити розрахункові напруження з експериментальними даними. Показано також значний вплив точності виготовлення на довговічність шліцьових з'єднань, де показник ступеня впливу перебуває в межах 4–5.

Таким чином, наукове вивчення причин і закономірностей відмов деталей трансмісії дає можливість формувати практичні рекомендації для підвищення надійності сільськогосподарських агрегатів, знижувати експлуатаційні витрати та забезпечувати стабільну роботу машин у складних умовах виробництва.

Список використаних джерел

1. Погорілий Л.В. Підвищення експлуатаційно-технологічної ефективності сільськогосподарської техніки. Київ, Техніка, 2000. 176 с.
2. Ковальов А.П. Забезпечення економічності розроблюваних виробів машинобудування. Київ, Колос, 2016. 152 с.

Дмитро НАЧИЧКО

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Віталій БОНЧИК

канд. техн. Наук, доцент

кафедри технічного сервісу і загальнотехнічних дисциплін

Закладу вищої освіти «Подільський державний університет»

Jolanta PUCZEL

доктор з інженерії в галузі аграрних наук

продекан з організації занять, практичного навчання та виробничої

практики Міжнародної академії прикладних наук в Ломжі

МЕТОДИКА ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ СТАТИСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПРО НАДІЙНІСТЬ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ

Для достовірної оцінки експлуатаційної надійності зернозбиральних комбайнів необхідне проведення цілеспрямованих спостережень у процесі їх роботи. Оскільки комбайни використовуються сезонно, а організація безперервних хронометражних досліджень є надто трудомісткою і практично нереалізованою, застосовуються комбіновані методи збору статистичних даних. В основі методики лежить поєднання періодичних хронометражних спостережень із систематичним накопиченням інформації про наробіток до відмов елементів та складальних одиниць комбайнів іншими доступними способами. Це дозволяє отримати повну картину відмов без потреби постійної присутності дослідників у полі.

Основною метою спостережень є з'ясування характеру і причин виникнення відмов, способів їх усунення, визначення часу та трудомісткості ремонтних і профілактичних робіт, а також оцінка загальних показників надійності комбайнів та їхніх окремих систем.

Для збору інформації розроблено спеціальні журнали спостережень, де фіксуються відомості про машину (марка, номер, рік випуску, попередні ремонти,

умови роботи, сезонний наробіток) і про механізатора, а також дані щодо початку та завершення спостереження. У разі виникнення відмов у журналі зазначаються їхні ознаки, можливі причини, система і конкретний вузол, що вийшов з ладу, наробіток до відмови у відповідних одиницях виміру, спосіб ліквідації несправності, використані інструменти і обладнання, а також повна тривалість ремонту й час, необхідний лише на технологічні операції без урахування організаційних затримок.

У випадках частого виходу з ладу однотипних деталей, коли неможливо простежити наробіток кожної окремо, застосовується метод реєстрації сумарної кількості відмов за певний період. Хоча він менш інформативний, проте значно знижує трудомісткість досліджень і придатний для оцінки витрат запасних частин. Для агрегатів, які не ремонтуються безпосередньо в полі, а замінюються після відмови, використовується метод обліку наробітку шляхом фіксації дат встановлення та заміни вузлів і відповідного ресурсу до виходу з ладу.

При аналізі ремонтпридатності конструкцій важливим показником є тривалість усунення відмови, яка залежить саме від конструктивних особливостей машини. Тому під час досліджень фіксуються паралельно виконувані роботи та втрати часу, що виникають через організаційні причини. Додатково здійснюються хронометражні спостереження за процесами розбирання і складання окремих елементів із виділенням витрат часу на кожну операцію. Такий підхід особливо ефективний при вивченні ремонтпридатності пасів, оскільки усунення їхніх відмов у більшості випадків зводиться до заміни. При цьому також реєструються причини та кількість замін.

Важливою складовою збору статистики є облік витрат запасних частин, що здійснюється за допомогою складських книг та лімітно-забірних карток. Ці дані дозволяють визначити середній термін служби деталей і величину наробітку до відмови за умови стабільного забезпечення господарства необхідними комплектуючими або їх відновлення у центральних ремонтних майстернях.

Таким чином, запропонована методика дозволяє отримати комплексну інформацію про надійність зернозбиральних комбайнів у реальних умовах експлуатації. Вона забезпечує можливість виявлення закономірностей відмов,

оцінки ремонтпридатності конструктивних рішень, визначення середнього ресурсу основних елементів та прогнозування потреби у запасних частинах, що має важливе значення для підвищення ефективності роботи сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

- 1.Бородін С. Зернозбиральні комбайни України: проблеми та шляхи їх вирішення // Пропозиція. 2016. № 10. С. 70-72.
2. Сідашенко О.І., Науменко О.А., Поліський А.Я. та ін. Ремонт машин. Київ: Урожай, 2010. 218 с.

Олександр САУХ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Сергій ЗАРУЦЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Роман ГРУДОВИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Поліський національний університет, м. Житомир

ЗАБРУДНЕННЯ ОХОЛОДЖУЮЧОЇ РІДИНИ ТА ЇХ ДЖЕРЕЛА

Усі зазначені проблеми систем рідинного охолодження (СРО) під час експлуатації автотранспортних двигунів значною мірою зумовлені наявністю в охолоджувальній рідині (ОР) забруднень різного походження.

Використання абсолютно чистої охолоджувальної рідини в СРО автотранспортних двигунів практично неможливе, оскільки завжди існуватимуть технологічні та експлуатаційні умови, що сприяють утворенню забруднень.

Принципово можливі лише три шляхи появи забруднень в охолоджувальній рідині, відповідно до яких самі забруднення можна класифікувати на [1]:

- виробничо-технологічні;
- внутрішні експлуатаційні, що утворюються в системі рідинного охолодження під час роботи;
- зовнішні експлуатаційні, які потрапляють у систему рідинного охолодження ззовні в процесі роботи (табл. 1).

Перший тип забруднень – виробничо-технологічні – утворюється неминуче ще на етапі виготовлення двигуна. До них належать металева стружка та тирса, що виникають під час механічної обробки блока циліндрів і потрапляють у важкодоступні порожнини сорочки охолодження. У цих порожнинах можуть також

залишатися залишки формувального піску, що потрапили туди під час лиття блока. Через складну геометрію каналів сучасних систем охолодження повне видалення таких домішок є досить складним завданням.

Таблиця 1 – Джерела забруднень системи рідинного охолодження (СРО)

Джерела забруднень системи рідинного охолодження (СРО)		
виробничо-технологічні	експлуатаційні	
	внутрішні експлуатаційні	зовнішні експлуатаційні
1. Формувальний пісок	1. Продукти кавітаційної ерозії	1.Песок
2. Металева стружка та тирса	2. Продукти хімічної корозії	2. Частинки герметика
3. Окалина	3.Накип і відкладення	3.Фрагменты прокладок
4. Залишки мастильно-охолоджувальної рідини	4.Продукти розкладання антифризу	4.Залишки засобів герметизації

Під час виробництва двигунів здійснюється комплекс спеціальних технологічних заходів, спрямованих на ретельне очищення деталей і вузлів від залишків забруднень – стружки, окалини, бруду, формувального піску тощо. Для цього застосовують віброочищення блоків і головок циліндрів, миття з використанням поверхнево-активних речовин, продування каналів та порожнин стисненим повітрям та інші технологічні операції, які забезпечують максимальне видалення сторонніх частинок перед складанням двигуна.

Перший тип забруднень – виробничо-технологічні – утворюється неминуче ще на етапі виготовлення двигуна. До них належать металева стружка та тирса, що виникають під час механічної обробки блока циліндрів і потрапляють у важкодоступні порожнини сорочки охолодження. У цих порожнинах можуть також залишатися залишки формувального піску, що потрапили туди під час лиття блока. Через складну геометрію каналів сучасних систем охолодження повне видалення таких домішок є досить складним завданням.

Під час виробництва двигунів здійснюється комплекс спеціальних технологічних заходів, спрямованих на ретельне очищення деталей і вузлів від залишків забруднень – стружки, окалини, бруду, формувального піску тощо. Для цього застосовують віброочищення блоків і головок циліндрів, миття з використанням поверхнево-активних речовин, продування каналів та порожнин стисненим повітрям та інші технологічні операції, які забезпечують максимальне видалення сторонніх частинок перед складанням двигуна.

Список використаних джерел

1. Stajuda L, Levchenko D, Kubiak P, Siczek K, Boguslawski G, Kuchar M et al. Composition, features, problems, and treatment related to cooling fluid – a review. Combustion Engines. 2024;196(1):106-125. <https://doi.org/10.19206/CE-169185>.

Ярослав САФТЮК

аспірант 2-року навчання
зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Науковий керівник:

Андрій ШТУЦЬ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Вінницький
національний аграрний університет»

ВПЛИВ ВМІСТУ СІРКИ В ПАЛИВАХ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ

Важливим параметром який впливає на довговічність техніки є якість палива. Дизель, бензин та ін., складається з багатьох елементів. Однак до небезпечних компонентів у паливі можна виділити сполуки сірки. Наявність сполук сірки не лише погіршує роботу двигунів, але й приносить негативні екологічні та економічні наслідки як для техніки так і для аграрного сектору в цілому [1, с. 80].

У Україні з 2014 року діють норми Євро-5, які встановлюють граничний вміст сірки у бензині та дизельному паливі на рівні не більше 10 мг/кг (10 ppm), що відповідає нормам та вимогам Європейського союзу та ДСТУ [2, 3].

Якщо заглянути в історію, то раніше, у 2008 році, допускався рівень сірки до 1000 ppm, що у 100 разів перевищувало сучасні норми та вимоги. Значне зниження вмісту сірки стало можливим завдяки переходу на мало сірчисті технології переробки нафти та імпорту якісних нафтопродуктів і переобладнання НПЗ що працюють у нашій країні [4, с. 710].

Вплив на двигуни сільськогосподарської техніки. Відповідно до досліджень та огляду літератури які я проводжу в рамках виконання дисертації. Можу виділити що при згорянні палива сірка перетворюється на діоксид сірки (SO_2), який окислюється до (SO_3) і, при цьому поєднуючись з водяною парою, утворює сірчану кислоту [5, с. 114]. Дана кислота в подальшому потрапляє у мастильні матеріали і призводить до:

- підвищеного спрацювання циліндро-поршневої групи;
- корозії підшипників;
- зменшення ресурсу моторних масел.

Відповідно до багатьох джерел які прийшлося опрацювати, навіть при невеликих рівнях (50 ppm) сірки може значно погіршується стан роботи двигунів, в більшості це стосується високофорсованих тракторів та комбайнів.

При цьому оптимальний вміст для роботи двигунів досягається при рівні сірки 10 ppm та нижче, що відповідає ДСТУ та нормам які я уже пригадував на початку.

Також робота з джерелами показує ще один вектор впливу. Робота двигунів на забруднених паливах впливає в подальшому на системи відпрацьованих газів.

Сучасні трактори та комбайни спроектовані та будуються відповідно нормам Stage IV/V (Euro VI) і уже при виході з конвеєра обладнуються:

- окиснювальними каталізаторами,
- сажовими фільтрами.

Якщо все таки є місце роботи техніки на забрудненому паливі це призводить до «отруєння» каталізаторів і заблокування пор сажових фільтрів. Це в свою чергу знижує ефективність зменшення викидів NO_x і сажі, при цьому також збільшується витрата пального.

Якщо підбити підсумки, то використання палива з підвищеним вмістом сірки призводить до:

- збільшення витрат на ремонт і обслуговування двигунів;
- частішої заміни моторних масел і фільтрів;
- збільшення ризику аварійних зупинок техніки під час сезонних робіт.

Витрати на ремонтні роботи у рази можуть перевищувати збереженні кошти, які можна отримати при використанні дешевого, але неякісного палива. Контроль вмісту сірки є не тільки технічно обґрунтованим, але й економічно вигідним, хоча ефект ми будемо спостерігати на дистанції. Відповідно до теми моєї дисертації акцентую увагу на тому що контроль вмісту сірки у паливі є важливим для експлуатації сільськогосподарської техніки. Використання палива з малим вмістом сірки не більше 10 ppm буде забезпечувати максимальний моторесурс.

Перспективним напрямком є впровадження експрес-методів контролю вмісту сірки безпосередньо на аграрних підприємствах.

Список використаних джерел

8. Черьомухін П. О., Іванченко П. О., Крайнюк О. В. Контроль якості бензинів та дизельного палива для забезпечення вимог техногенної безпеки. *Вісник ХНАДУ*. № 86, 2019. С. 80 – 89.
9. ДСТУ 7687:2015 Бензини автомобільні євро. Технічні умови На заміну ДСТУ 4839:2007. [Чинний від: 01.01.2016]. Київ: К.: Держспоживстандарт України, 2015. 20 с.
10. ДСТУ 7688:2015 Паливо дизельне євро. Технічні умови. На заміну ДСТУ 4840:2007. [Чинний від: 01.01.2016]. Київ: Держспоживстандарт України, 2015. 18с.
11. Капустян В. О., Сірецька І. О. Проблеми та перспективи розвитку ринку нафтопродуктів в Україні. *Молодий вчений*. 2018. № 5(57). С. 709–712.
12. Галла-Бобик С.В. Визначення впливу якості бензинів на забруднення атмосферного повітря. *Вісник УжНУ*. 2004. Випуск 12. С. 114–115

СЕКЦІЯ 5

ЕНЕРГЕТИКА, ЕНЕРГЕТИЧНІ ЗАСОБИ ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

ENERGY, ENERGY MEANS OF ELECTRICAL TECHNOLOGY AND AUTOMATION

БІОЕНЕРГЕТИЧНІ СИСТЕМИ ТА ВІДНОВЛЮВАЛЬНА ЕНЕРГЕТИКА BIOENERGY SYSTEMS AND RENEWABLE ENERGY

Oleksandr OLENYUK

Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department
of Technical Service and General Technical Subjects of the
Higher Educational Institution «Podillia State University»,

Szymon GLOWACKI

D.Sc. Prof. Department of Fundamentals of Engineering
and Power Engineering, Institute of Mechanical Engineering,
Warsaw University of Life Sciences

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNOLOGIES FOR THE OPTIMIZATION OF ENERGY COMPLEXES

The rapid development of artificial intelligence (AI) technologies is revolutionizing various sectors of the economy, with the energy industry being one of the most significant beneficiaries. The integration of AI in energy complexes aims to optimize performance, increase efficiency, reduce operational costs, and enhance sustainability. This paper explores the current applications of AI in energy systems, presents recent scientific data supporting AI-driven optimization, and discusses future trends and challenges.

Energy complexes, encompassing power generation, transmission, distribution, and consumption, face increasing demands for reliability, cost-effectiveness, and environmental responsibility. Traditional control and management systems often struggle with the complexity and dynamic nature of modern energy grids, particularly with the increasing penetration of renewable energy sources such as solar and wind power. AI technologies, including machine learning (ML), deep learning (DL), and intelligent automation, provide advanced data analytics, predictive capabilities, and real-time decision-making to address these challenges effectively.[1]

One of the primary applications of AI in energy complexes is predictive maintenance of equipment. According to a 2024 study published in the *Journal of Energy Engineering*, AI-based predictive models can reduce unexpected failures by up to 40%, significantly lowering maintenance costs and downtime [2]. These models use sensor data and historical failure records to proactively identify potential equipment malfunctions before they become critical. For example, neural networks trained on vibration and temperature data of turbines can forecast bearing faults with high accuracy, allowing timely interventions.

Another critical area of AI application is energy demand forecasting and load management. Accurate forecasting is essential for balancing supply and demand, minimizing energy wastage, and reducing the need for expensive peak power plants. Recent research in *Renewable Energy* (2023) demonstrated that hybrid AI models combining recurrent neural networks (RNNs) and support vector machines (SVMs) outperform traditional statistical methods by achieving a forecasting error reduction of 15-20% [3]. These improvements enable utility operators to optimize load scheduling, integrate variable renewable sources more effectively, and improve grid stability.

AI also facilitates optimization in energy generation by improving the control of renewable energy assets. For instance, adaptive control algorithms enhanced by reinforcement learning have been shown to increase photovoltaic (PV) system efficiency by optimizing panel orientation and energy storage dispatching in real-time. A 2024 *IEEE Transactions on Sustainable Energy* article reports that such AI-driven approaches can improve PV system yield by 8-12% compared to conventional fixed scheduling methods.

Furthermore, AI applications extend to grid management, where intelligent agents analyze grid conditions and dynamically adjust operational parameters to prevent overloads and outages.

Despite the promising benefits, the deployment of AI in energy complexes involves significant challenges. Data quality and availability remain critical issues, as AI systems require vast and accurate datasets for training. Cybersecurity risks also increase with the integration of AI, necessitating robust protective measures. Moreover, the interpretability of AI decisions is essential for operator trust and regulatory compliance. Addressing these challenges requires interdisciplinary research and collaboration between AI experts, energy engineers, and policymakers.

Future trends suggest that AI will become increasingly embedded in decentralized energy systems, such as microgrids and smart grids, enabling autonomous and resilient energy management. The convergence of AI with Internet of Things (IoT) devices and blockchain technology will further enhance transparency, security, and efficiency. Continuous advancements in explainable AI (XAI) will improve the transparency of AI-driven decisions, fostering broader adoption in the energy sector.

In conclusion, artificial intelligence technologies offer transformative potential for the optimization of energy complexes by enhancing predictive maintenance, refining demand forecasting, improving renewable energy management, and strengthening grid operations. Recent scientific data affirm the effectiveness of various AI approaches in reducing costs, increasing efficiency, and promoting sustainability. Overcoming challenges related to data, security, and explainability will be vital for realizing the full benefits of AI in the energy sector. The future of energy complexes will undoubtedly be shaped by the continued integration of intelligent technologies, supporting the transition to a more efficient and sustainable energy future.

List of sources used

1. Review for Smart Grid Dispatch / Y. Li et al. Artificial Intelligence Enabled Computational Methods for Smart Grid Forecast and Dispatch. Singapore, 2023. P. 31–53. URL: https://doi.org/10.1007/978-981-99-0799-1_3.

2. Predictive Maintenance with Machine Learning: A Comparative Analysis of Wind Turbines and PV Power Plants / U. Uhanto et al. Heca Journal of Applied Sciences. 2024. Vol. 2, no. 2. P. 87–98. URL: <https://doi.org/10.60084/hjas.v2i2.219>.
3. Abimbola O. Energy Demand Forecasting with Deep Learning for Smart Cities. International Journal of Research Publication and Reviews. 2025. Vol. 6, no. 4. P. 5950–5959. URL: <https://doi.org/10.55248/gengpi.6.0425.14127>.

IMPACT OF WIND FARMS ON THE AGRICULTURAL ENVIRONMENT

The increasing development of wind farms as a source of renewable energy has prompted extensive research into their environmental impacts, particularly in rural and agricultural areas. This article explores the interaction between wind farm installations and the agricultural environment, assessing both the benefits and challenges associated with wind energy projects on farmland.

Wind energy has emerged as a critical component in the transition towards sustainable energy systems, driven by international climate policies such as the European Union's "Fit for 55" package, which aims to reduce greenhouse gas emissions by 55% by 2030 and achieve climate neutrality by 2050. Wind farms produce clean energy without generating gaseous, solid, or liquid waste, thereby conserving soil and water quality in agricultural landscapes[1]. However, the placement and operation of wind turbines also raise concerns related to land use, wildlife safety, and the socioeconomic dynamics of rural communities.

Wind power offers a series of environmental benefits pertinent to agricultural regions. The absence of pollution in the form of emissions or waste products ensures that the surrounding soil and water resources remain untainted, which is vital for sustainable farming practices. Furthermore, wind farms do not cause land degradation or significant disruption to the water cycle, maintaining ecosystem services necessary for crop production.

Economically, wind turbine installations provide farmers with additional revenue through land lease agreements, enhancing rural economies. Energy independence is another advantage, allowing farms and local communities to benefit from stable and often lower-cost power supplies.

Technological advances in wind turbine design have led to increased efficiency, allowing turbines to generate substantial electricity even at moderate wind speeds. This technological progress, coupled with low operational costs, further boosts the appeal of wind energy in agricultural landscapes.

Despite the benefits, several challenges must be addressed. Wind turbines can cause mechanical damage during construction and maintenance, and there is documented concern about fire risks due to flammable materials in turbine components. Safety systems and strict maintenance protocols are essential to mitigate these hazards.

Bird and bat mortality due to turbine collisions is a significant environmental concern. Innovative mitigation strategies, such as HD camera monitoring and automated turbine shutdown systems, have proven effective in reducing wildlife fatalities by about 80%. The deployment of such technologies highlights the importance of ecological considerations in wind farm management.

Noise emissions from wind turbines, including low-frequency sounds, have been studied extensively. Research indicates that noise from wind farms is generally not harmful to workers or residents when regulated within acceptable decibel levels [2]. Nevertheless, proper assessment and monitoring are necessary, especially in areas close to human habitation.

Spatial planning plays a crucial role in minimizing negative impacts. In many regions, strict regulations dictate minimum distances between turbines and residential buildings, often around 700 meters, and require strategic environmental assessments prior to project approval. These measures help balance energy development with the protection of agricultural and human environments.

The European Union's ambitious climate and energy targets have accelerated wind energy deployment, with countries like Poland set to produce nearly 29% of their electricity from wind by 2030. National legislation supports this growth while imposing environmental safeguards, including emission trading systems designed to incentivize low carbon technologies and penalize pollution.

Many local governments are revising spatial plans and environmental impact assessments to integrate wind energy projects sustainably. The increasing pressure for

renewable energy infrastructure necessitates sophisticated planning tools that classify land according to its suitability, thereby guiding future installations away from ecologically sensitive or agriculturally valuable areas.

Wind farms represent a sustainable opportunity to advance renewable energy production within agricultural landscapes. While they pose certain ecological and operational challenges, advances in technology, robust regulatory frameworks, and proactive environmental management minimize adverse effects on the agricultural environment. By continuing to develop and implement mitigation measures, wind energy can be harmoniously integrated into rural regions, contributing to cleaner energy systems and enhanced agricultural sustainability.

List of sources used

1. Wang G, Li G, Liu Z. Wind farms dry surface soil in temporal and spatial variation. *Sci Total Environ.* 2023 Jan 20;857(Pt 1):159293. Doi: 10.1016/j.scitotenv.2022.159293. Epub 2022 Oct 6. PMID: 36209881.
2. Arias, A., Moreira, M. T., & Feijoo, G. (2025). Wind farms through the lens of sustainability and circularity: Integrating environmental, economic, and social dimensions. *Sustainable Production and Consumption*, 58, 277–292. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2025.07.003>

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ПОТУЖНОСТІ ТА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

У сучасних умовах розвитку енергетичної галузі однією з найактуальніших задач є підвищення ефективності функціонування електричних мереж. Значні втрати потужності та електроенергії в лініях електропередач призводять до економічних збитків та зниження надійності енергопостачання. Тому важливим напрямом є оптимізація параметрів електричних мереж з метою мінімізації цих втрат.

Основним завданням дослідження є визначення довжини ділянок ліній електропередач і параметрів цієї лінії, формування розрахункової моделі електричної мережі та проведення аналізу усталеного режиму її роботи [1, с. 122]. Це дозволяє не лише оцінити рівень втрат, але й визначити можливі шляхи підвищення енергоефективності мережі.

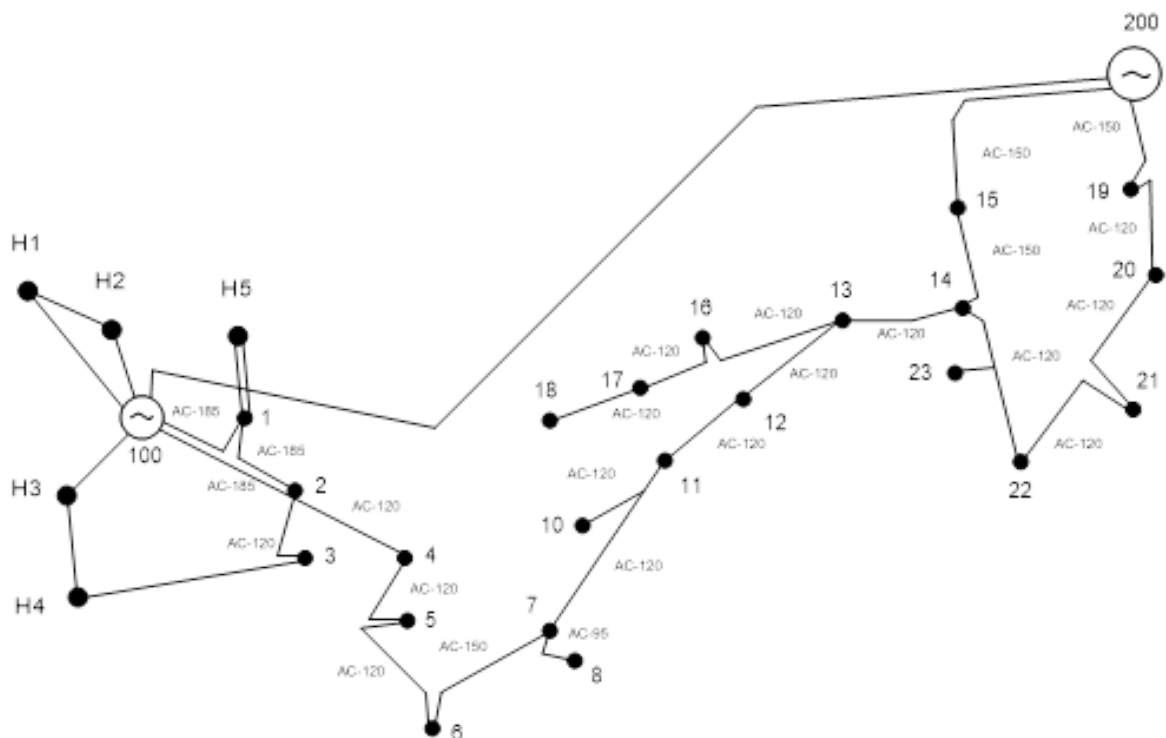


Рис. 1 Схема електричної мережі 110/35 кВ

Виходячи з наведеної схеми, наступним етапом є визначення довжин окремих ділянок ліній електропередач, оскільки цей параметр безпосередньо впливає на величину втрат потужності та електроенергії.

Довжина ділянки мережі визначається за формулою:

$$L=1,1 \cdot m_l \cdot l_{ij}, \quad (1)$$

де m_l – масштаб у км/см;

l_{ij} – довжина на карті, см;

1,1 – коефіцієнт нелінійності траси.

Використовуючи формулу (1), розрахуємо довжини ділянок для ліній електропередач. Для прикладу, для лінії Н1–Н2 довжина становитиме:

$$L=1,1 \cdot 15 \cdot 0,8=13,2 \text{ (км)}.$$

Для всіх інших ліній розрахунків виконується аналогічним чином. Узагальнені результати подано в таблиці 1.

Таблиця 1 – Довжини ділянок мережі

Ділянка	Довжина на карті, мм	Довжина ділянки мережі, км
Н1-Н2	0,8	13,2
Н1-100	1,5	24,75
Н5-1	0,8	13,2
Н2-100	0,8	13,2
Н3-Н4	1	16,5
Н4-Н3	2,3	37,95
Н3-100	0,8	13,2

Розраховані довжини ділянок ліній електропередач дають можливість провести подальший аналіз режимів роботи електричної мережі та оцінити рівень втрат потужності. На основі цих даних можна визначити найбільш доцільні технічні заходи для їх зниження.

Одним із найефективніших методів є установлення та введення в експлуатацію пристроїв для компенсації реактивної потужності. Застосування таких

пристроїв сприяє зменшенню навантаження на мережу, покращенню коефіцієнта потужності та, як наслідок, зниженню втрат електроенергії.

Разом з тим, установлення додаткових компенсуючих і регулювальних пристроїв буде економічно доцільним лише за умови, що витрати, пов'язані з їх спорудженням та подальшою експлуатацією, будуть меншими за отриманий економічний ефект для енергетичного підприємства [2, с. 270].

Якості напруги вузлів навантаження, однак на практиці такі дані часто відсутні. Показник Z_{Π} може бути визначений на підставі економічного аналізу варіантів розвитку енергетичного підприємства.

Особливістю вибору пристроїв для компенсації реактивної потужності є необхідність одночасного вирішення двох взаємопов'язаних завдань:

- проектного – визначення оптимальної потужності, місць та черговості встановлення компенсуючих пристроїв (КУ);
- експлуатаційного – оптимізація режиму роботи електричних мереж за реактивною потужністю з урахуванням наявних синхронних генераторів на станціях, статичних компенсаторів у мережах та електродвигунів у споживачів.

Оскільки режими роботи електричної мережі постійно змінюються, а компенсуючі пристрої встановлюються на тривалий період, виникає також завдання вибору оптимальних законів регулювання потужності КУ для забезпечення допустимих рівнів напруги у вузлах мережі під час оперативного керування її режимом [3, с. 295].

Таким чином, оптимізація компенсації реактивної потужності є складним багатоцільовим завданням із численними обмеженнями. Його вирішення ускладнюється необхідністю системного урахування сумарних витрат на генерацію та розподіл електроенергії в усій системі електропостачання – від генераторів електростанцій до шин 380 В розподільних трансформаторів – за умови забезпечення всіх технічних вимог нормальної роботи електричних мереж.

Висновок. Оптимізація електричних мереж для зниження втрат потужності та електроенергії є ключовим напрямком підвищення енергоефективності, що включає точний розрахунок довжин ділянок ліній електропередач за допомогою формули з

урахуванням масштабу та коефіцієнта нелінійності, а також моделювання та аналіз усталеного режиму роботи мережі. Ефективним методом зменшення втрат є встановлення пристроїв компенсації реактивної потужності, що покращує коефіцієнт потужності та напругу, але вимагає економічної оцінки, де ефект від зниження втрат повинен перевищувати витрати на спорудження й експлуатацію. Загалом, це багатоцільове завдання з численними обмеженнями, яке потребує системного підходу від генерації до розподілу електроенергії для забезпечення надійності та економічної доцільності енергопостачання.

Список використаних джерел

1. Лежнюк П. Д., Кулик В. В. *Оптимальне керування потоками потужності і напругою в неоднорідних електричних мережах*. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2004. 188 с.
2. Плєшков С. П. Застосування математичних моделей електроспоживання сільськогосподарського виробництва в системах автоматичного контролю та управління. *Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України*. Харків: ХДТУСГ, 2001. С. 269–273.
3. Стаднік М., Штуць А., Колісник М., Григоренко Н. Застосування інтелектуальних систем для підвищення надійності та ефективності функціонування електроенергетичних мереж. *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: технічні науки*. 2025. № 1 (347). С. 291–299.

Сергій ЄРМАКОВ,
завідувач навчально-наукової лабораторії «DAKGPS»,
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Agata LADA
доктор наук, завідувач кафедри хімії університету
прикладних наук у Тарнові,

ТОРЕФІКАЦІЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОСЛИННОЇ БІОМАСИ

Вступ. Сучасна енергетична криза та зростання забруднення довкілля актуалізують потребу у пошуку нових альтернативних джерел енергії [1; 5]. Біоенергетика, зокрема використання твердого біопалива, набуває значного поширення в Україні завдяки наявності доступної сировини – відходів деревообробки, сільського господарства, торфу тощо [3; 4]. Проте без відповідної підготовки така сировина має низьку щільність, значну вологість і недостатню теплотворну здатність, що обмежує її ефективне застосування [6; 7].

Одним з перспективних методів підвищення енергетичних характеристик біопалива є торефікація – термічна обробка біомаси без доступу кисню. Вона забезпечує зменшення вологості, видалення баластних компонентів, підвищення енергетичної щільності та покращення експлуатаційних властивостей палива [2]. Метою роботи є визначення ефективних параметрів торефікації біомаси рослинного походження та встановлення залежностей між температурними режимами і втратою маси матеріалу, що свідчитиме про зміну енергетичних показників продукту.

Результати. Дослідження виконувалися у навчально-науковій лабораторії «DAK GPS» Державного аграрно-технічного університету у Поділлі. Для експериментів використовувалася установка для торефікації конвеєрного типу (рис.1), яка забезпечує рівномірний прогрів матеріалу та контроль температурного режиму в необхідних межах для торефікації 180–300 °С.

Проби біомаси (солома ячменю, лушпиння сої, тополя, верба, міскантус) піддавалися поетапній термічній обробці з інтервалом 20 °С. Для кожного циклу фіксувалися масові втрати зразків, колірні зміни та інші ознаки внутрішньої трансформації (задимлення, запах тощо).



Рис.1. Дослідна установка для торефікації лабораторії «DAKGPS»

2. Активна термічна деструкція органічної речовини – у діапазоні 185–300 °С залежно від виду сировини. На цьому етапі відбувається різке зменшення маси, видалення летких сполук і формування нових властивостей палива.



- для соломи ячменю та лушпиння сої – від 185–195 °С до 230–240 °С;
- для тополі, верби та міскантусу – від 235–245 °С до 280–300 °С.

Зі зростанням температури зразки темніли: від світло-коричневого до вуглистою кольору. Зміна кольору чітко корелює зі зміною маси, тому може використовуватися як простий візуальний показник ступеня термообробки.

Також встановлено, що після завершення активної фази процесу швидкість втрати маси різко зменшується, а енергетична щільність матеріалу стабілізується. Це дає змогу визначати оптимальні режими торефікації без застосування складних аналітичних методів.

Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників, які підтверджують ефективність торрефікації для підвищення теплотворної здатності та зменшення викидів при спалюванні біомаси.

Висновки. Застосування торефікації біомаси сприяє підвищенню енергетичної цінності біопалива, його гідрофобності, зменшенню димності, запахів і шкідливих викидів.

Проведено експериментальні дослідження впливу температурного режиму на процес торефікації різних видів біомаси. Встановлено, що активні зміни матеріалу відбуваються у діапазоні 185–300 °C залежно від виду сировини. Основними параметрами контролю процесу можуть слугувати втрата маси біомаси, що дозволяє здійснювати первинну оцінку якості торефікації без спеціалізованого обладнання.

Отримані результати можуть бути використані для оптимізації технологій термічної обробки біомаси в умовах промислового виробництва твердого біопалива в Україні.

Список використаних джерел

1. Nowak Cz., Pustova Z., Nedilska U. Agrobiomass as the energy potential of Ukraine. *Сучасні проблеми ґрунтознавства в Україні і світі*. С.106–111.
2. Єрмаков С.В., Кучер О.В., Пустова З.В. Покращення енергетичних властивостей біомаси шляхом торефікації (на прикладі *Miscanthus × giganteus*). *Тенденції та виклики сучасної аграрної науки в умовах війни: теорія і практика*. Київ, 2023. С.118.

3. Гук Я.В. Перешкоди для енергетичного використання агробіомаси на ринку України. *Ефективне використання енергії. Стан і перспективи*. Кам'янець-Подільський, 2021. С.60–62.

4. Кучер О.В., Єрмаков С.В. Методологія маркетингових досліджень біоекономічних процесів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Економічні науки*, вип. 1 (38), 2023. С.132–139.

5. Wróbel M., Jewiarz M., Szlęk A. *Renewable Energy Sources: Engineering, Technology, Innovation: ICORES 2018*. Springer, 2019.

6. Єрмаков С.В., Кучер О.В., Пустова З.В. Огляд найкращих доступних технологій спалювання твердих палив. *XIX-й Міжнародний форум молоді “Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті”*. Збірка матеріалів форуму. Харків: ДБТУ, 2023. С.165.

7. Єрмаков С. Особливості спалювання торефікованої біомаси. *Альтернативні джерела енергії в контексті розвитку “зеленої” економіки*. Кам'янець-Подільський: ЗВО «ПДУ», 2024. С.37–39.

8. Yermakov S., Hutsol T., Rozkosz A., Glowacki S., Slobodian S. Evaluation of effective parameters of biomass heat treatment in processing for solid fuel. *Engineering for Rural Development*, 2021. <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF241>

СЕКЦІЯ 6

ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСІВ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ REGULARITIES OF FRICTION AND WEAR PROCESSES OF AGRICULTURAL MACHINERY PARTS

Артур БАЙБУЛА

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Святослав ХАЛІМОВСЬКИЙ

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Даніл КОВАЛЬЧУК

здобувач освіти 2 курсу ОС «Магістр»
спеціальності 208 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

д.т.н., професор **Костянтин БОРАК**

Поліський національний університет, м. Житомир

ТРИБОТЕХНІЧНІ ПРОЦЕСИ НА ПОВЕРХНІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Ефективність ґрунтообробних машин значною мірою визначається здатністю їхніх робочих органів протистояти зносу. Робочі лемеші, лапи культиваторів, диски борін і інші елементи відчують інтенсивний контакт із ґрунтом та абразивними включеннями. Триботехнічні процеси при цьому мають складний характер: поверхня інструменту піддається механічному, хімічному та тепловому впливам, які змінюють мікроструктуру, викликають пластичну деформацію, руйнування й утворення дефектів [1]. Через зношування доводиться часто замінювати робочі

органи, що збільшує витрати на експлуатацію й енергію, а також погіршує якість обробітку. Саме тому дослідження механізмів зношування та розроблення методів зміцнення залишаються актуальними для сільськогосподарської техніки.

Українські дослідники приділяють значну увагу питанню підвищення зносостійкості. Денисенко та Рубльов аналізували різні методи зміцнення й дійшли висновку, що дугове точкове наплавлення порошковим дротом є найбільш ефективним методом підвищення зносостійкості робочих органів [2]. Вони також навели відносні абразивні властивості ґрунтів: умовна абразивність глини прийнята за 1, для піщаних ґрунтів вона становить 1,5, для суглинків – 1,9, а для супісків – 2,3 [2]. Інше важливе спостереження: вітчизняні робочі органи лемешів та культиваторів на 30–50 % менш зносостійкі, ніж зарубіжні аналоги, що обумовлено матеріалом і термічною обробкою [2]. Результати підкреслюють необхідність використання сучасних технологій наплавлення та матеріалів для конкурентоспроможності.

В. Волошко систематизував види зношування ґрунтообробних робочих органів, виділивши абразивне, адгезійне, втомне, корозійне й водневе руйнування [1]. Абразивне зношування домінує і відбувається у формі мікрорізання та мікроплування частинками ґрунту. Дослідник підкреслив, що багаторазові деформації викликають наклеп металу, що, в свою чергу, підвищує твердість поверхні та може уповільнювати подальший знос. Однак вібрації у вузлах кріплення спричиняють фретинг – локальну корозію й утворення тріщин. З огляду на це дослідження відзначає два підходи до виготовлення робочих органів: використання відносно недорогих сталей 65Г з поверхневим гартуванням або застосування високолегованих сталей і наплавлених шарів спеціальними електродами. Серед технологій зміцнення названо індукційне гартування, порошкове наплавлення, дугове та лазерне наплавлення, а також нанесення керамічних композиційних покриттів. Автор наголошує на необхідності системного вибору матеріалів та технологій з урахуванням реальних умов роботи [1].

В роботах К. В. Борака акцент робиться на глибшому розумінні абразивного зношування робочих органів. На основі аналізу відомих праць автор показав, що

поверхні лемешів та лап при зношуванні взаємодіють з абразивом у трьох станах – закріпленому, напівзакріпленому та вільному, а ступінь закріпленості частинок залежить від стану ґрунту [3, 4, 5]. Встановлено, що зміна ступеня закріпленості абразивних частинок на полі може подвоювати або зменшувати інтенсивність зношування, а тому оцінка стану ґрунту (вологість, структурність) є критичною. У статті про вплив попередньої корозії автори довели, що міжсезонне зберігання техніки без належного захисту знижує мікротвердість робочих органів на 3,5–9,6 % та збільшує інтенсивність зношування на ~9,4 %. З’ясовано, що для консервації поверхонь ефективними є вітчизняні матеріали типу БЕСТ КМ-1 та ПВК, які забезпечують такий самий захист, як і іноземні аналоги, але мають нижчу вартість. Роботи Борака також роблять висновок, що підвищення твердості сталі не завжди прямо пропорційно збільшує зносостійкість; важливу роль відіграє пластичність та структура поверхні [3, 4, 5].

Аулін В. та Тихий А. розробили підхід, у якому процеси зношування розглядаються не тільки через властивості матеріалу інструмента, але й через зміни стану ґрунтового середовища. В їх статті показано, що різні фази ґрунту чинять різний опір силовим діям робочих органів і впливають на деформацію ґрунту [6]. Виявлено, що зміна напружено-деформованого стану ґрунту суттєво змінює характер і величину зносу; досліджено залежність зносу від щільності твердої фази, вологості та пористості ґрунту [6]. Науковці підкреслили, що більшість робіт фокусуються на підвищенні фізико-механічних властивостей матеріалу та геометрії, але недостатньо уваги приділяють керуванню процесами зношування через зміну властивостей ґрунтового середовища. Вони наголосили на необхідності враховувати напружено-деформований, агрегатний та фазовий стани ґрунту, які змінюються з глибиною обробітку та істотно впливають на знос [6].

Науковці у світі відзначають, що на інтенсивність зношування впливають твердість матеріалу інструмента, властивості ґрунту та режим роботи. Огляд в роботі [7] відзначає, що якщо відношення твердості інструмента до твердості абразиву нижче 0,8, переважають мікрорізання та мікроплузження, а коли це відношення перевищує 0,8, відбувається ламання та луцення частинок матеріалу

[7]. Тому для підвищення зносостійкості необхідно збалансувати твердість і в'язкість. Робота в журналі Heliyon [8] аналізує різні покриття та робить висновок, що збільшення розміру абразивних частинок (наприклад, піску) призводить до зростання швидкості зношування, тоді як нанесення твердих покриттів зменшує знос і навіть знижує тягове зусилля на 3 %. Крім того, вологість ґрунту, його структурність і текстура суттєво впливають на механізм зношування [8].

В багатьох роботах значну увагу приділяють мікроструктурі наплавлених шарів. Królicka та співавт. Дослідили композиційні наплавки на основі хромових карбідів M7C3 і встановили, що дрібнодисперсні частинки NbC та рівномірний розподіл карбідів підвищують зносостійкість, тоді як великі крихкі карбіди хрому сприяють інтенсивному зносу [9]. Гетерогенна мікроструктура наплавленого шару призводить до деламінації та виривання частинок на межі «наплавка–основа». Автори виконали світлову та електронно-мікроскопічну оцінку та мікротвердісні вимірювання, наголошуючи на важливості контролю мікроструктури [9].

Огляд сучасних матеріалів для ґрунтообробних машин зазначає, що абразивне зношування домінує при високій жорсткості частинок ґрунту; для його зменшення застосовуються сплави на основі чавуну, високоманганцеві та висохромисті сталі, а також металокерамічні композиції. Навпаки, низьковуглецева сталь 65Mn показала найгіршу стійкість через низьку міцність і корозійну стійкість [10]. Сучасні дослідження також поєднують експериментальні та числові методи для прогнозування зношування, що дозволяє оптимізувати форму і матеріал ще на етапі проєктування [10].

У Німеччині питання зносу також активно досліджуються. Так, дослідження [11] показало, що використання високоякісних спеціальних сталей для лемішів зменшує втрату ваги в польових випробуваннях на 61 % і подовжує термін служби у 2,5 рази. Додаткове нанесення зміцнюючого шару ще більше покращує результат [11]. Німецькі компанії пропонують леміші зі змінною твердістю, у яких зона ріжучої кромки наплавлена твердим сплавом, а основа залишається більш пластичною для поглинання ударів. Такий підхід узгоджується з вітчизняними дослідженнями, що підкреслюють необхідність поєднання твердості й в'язкості.

При виконанні досліджень по визначенню триботехнічних процесів, які відбуваються на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин були проведені мікроструктурні спостереження поверхонь, характерних для робочих органів ґрунтообробних машин після експлуатації. Для відтворення реальних умов роботи, використовували сталь 65Г та моделювали абразивне зношування кварцовим піском в установці за типом «крильчатка». Після випробувань поверхні досліджували за допомогою світлової та електронної мікроскопії.

На поверхні робочої поверхні сформувалася система паралельних борозен – слідів мікрорізання частинками піску (рис. 1.). Глибина борозен становить 20–50μм, що відповідає літературним даним про переважання абразивного механізму зношування .



Рис. 1. Поверхня тертя (матеріал сталь 65Г, абразив – кварцовий пісок).

Між борознами спостерігається тонка пластична деформація металу; це є підтвердженням наклепу, коли повторні деформації збільшують твердість поверхні. На макрорівні поверхня має згладжений характер, але періодично зустрічаються ділянки виривання металу – результат локального сколювання.

Триботехнічні процеси на поверхні робочих органів ґрунтообробних машин мають переважно абразивний характер, але їхній розвиток тісно пов'язаний з адгезійним та втомним руйнуванням. Аналіз літератури показує, що ефективне підвищення зносостійкості можливе через поєднання матеріального (вибір сталі, наплавки, покриття) та конструктивно-технологічного підходу (форма інструмента, режими роботи). Дослідження вітчизняних авторів підкреслюють важливість наплавлення та індукційного гартування, тоді як зарубіжні роботи акцентують увагу на контролі мікроструктури наплавок та застосуванні сучасних матеріалів, таких як хромисті чи карбідо-ніобієві композиції. Наші експериментальні спостереження підтвердили, що на поверхні формуються борозни мікрорізання, відбувається наклеп та утворення мікротріщин. Правильний вибір матеріалу та технології оброблення, а також забезпечення жорсткого кріплення, можуть суттєво збільшити ресурс робочих органів.

Список використаних джерел

1. Волошко Т. П. Направлений вибір технології підвищення якості робочих органів ґрунтообробних машин. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія «Механізація та автоматизація виробничих процесів», випуск 3 (28), 2016. С. 82-87.
2. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Підвищення довговічності робочих органів ґрунтообробних машин з використанням точкового зміцнення. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2011, випуск 24, ч.ІІ. С. 28-35.
3. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : дис. ... д-ра. Техн. Наук : 05.05.11 / Поліський національний університет, м. Житомир. 2021. 380.
4. Borak K. V., Kulykivskyi V. L.; Rudnik D. I.. Impact of the preliminary corrosion on the intensity of the abrasive wear of the working tools of the tillage machine. Scientific Works of VNTU, 2023, № 2. DOI: <https://doi.org/10.31649/2307-5392-2023-2-33-42>.

5. Борак К. В., Крук І. С. Вплив швидкості руху ґрунтообробних агрегатів на інтенсивність зношування робочих органів. Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. 2020. №1. С. 30–36.
6. Аулін В.В., Тихий А.А. Вплив зміни стану та властивостей ґрунту на знос робочих органів, що працюють на різній глибині. Проблеми трибології (Problems of Tribology) 2013, № 1. С. 120-126.
7. Yazıcı A. Wear on steel tillage tools: A review of material, soil and dynamic conditions. Soil and Tillage Research. Volume 242, October 2024, 106161. DOI:10.1016/j.still.2024.106161.
8. Malvajerdi A.S. Wear and coating of tillage tools: A review. Heliyon, June 2023, 9(1):e16669. DOI:10.1016/j.heliyon.2023.e16669.
9. Królicka A., Szczepański Ł., Konat Ł., Stawicki T., Kostencki P. The Influence of Microstructure on Abrasive Wear Micro-Mechanisms of the Claddings Produced by Welding Used in Agricultural Soil. Materials (Basel). 2020 Apr 19;13(8):1920. Doi: 10.3390/ma13081920.
10. Wang Y., Li D., Nie Ch., Gong P., Yang J., Hu Zh., Li B., Ma M. Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. Materials (Basel). 2023 Dec 14;16(24):7646. Doi: 10.3390/ma16247646.
11. Reckleben Y., Reckleben B. Verschleißreduktion durch verbesserte Stahlqualität beim Pflug. Agricultural engineering.Eu, 69(1), 35–39. <https://doi.org/10.15150/lt.2014.170>.

Андрій ГУПКА

канд. техн. Наук, доцент

Ігор ТКАЧЕНКО

канд. техн. Наук, доцент

Роман ЛЕЩУК

канд. техн. Наук, доцент

Тетяна ПИНДУС

асистент

Степан ОСТАПЧУК

асистент

Тернопільський національний
технічний університет імені Івана Пулюя

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРІАЛІВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН, ЩО ПРАЦЮЮТЬ В АБРАЗИВНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Однією з основних причин втрати працездатності вузлів тертя машин є абразивне зношування деталей, які експлуатуються у середовищах з підвищеним вмістом твердих частинок. Для техніки, що працює в умовах контакту з ґрунтом, піском або пилом, характерним є поєднання абразивного, адгезійного та ударного зношування. Це призводить до інтенсивного руйнування поверхневого шару, втрати геометричних параметрів і, зрештою, до зниження надійності машин[1, с. 67]. В умовах сучасного машинобудування важливим є створення матеріалів, здатних зберігати експлуатаційні характеристики за дії комбінованих навантажень. Одним із перспективних шляхів є застосування полімерних і металополімерних композиційних матеріалів, які мають здатність самозмащування, низький коефіцієнт тертя і відносно малу густину. Проте визначальним фактором їх довговічності є стійкість до абразивного зношування при багаторазових циклах навантаження. Мета роботи – дослідження впливу структурно-механічних властивостей полімерних композицій на їх трибологічні характеристики за умов ударно-абразивного тертя.

Для досягнення мети розроблено експериментальну методику з використанням лабораторної машини тертя, оснащеної системою вимірювання моменту тертя, сили навантаження та температури в зоні контакту[2, с. 77]. Дослідження проводилися за схемою «диск–колодка» при змінних режимах навантаження від 1 до 10 Мпа та швидкості ковзання 0,5–1,5 м/с.[3, с. 430] Як об'єкти досліджень обрано зразки з поліаміду, поліетилену та епоксикомпозицій з мінеральними та техногенними наповнювачами. Для підвищення адгезії між матрицею і наповнювачем використовувалися поверхнево-активні речовини силанового типу. Отримані результати показали, що введення 10–20 % базальтового пилу або оксиду алюмінію дозволяє зменшити швидкість зношування на 20–35 % у порівнянні з ненаповненими полімерними зразками. Крім того, спостерігалось формування на поверхні тертя тонкої захисної плівки, яка стабілізувала процес тертя. Встановлено, що характер зношування суттєво залежить від форми абразивних частинок. При дії гострокутних частинок кварцу домінує мікрорізання, тоді як при використанні округлих частинок спостерігається переважно пластична деформація поверхні. Це зумовлює різну інтенсивність матеріаловтрати, що необхідно враховувати при прогнозуванні ресурсу деталей. Для опису закономірностей процесу зношування застосовано модифіковане рівняння Арчарда, у якому враховано енергію ударної взаємодії частинок. Отримано кореляційну залежність між енергією удару, твердістю матеріалу і питомою швидкістю зношування. Розрахункові результати узгоджуються з експериментальними даними, що свідчить про адекватність запропонованої моделі. Проведено аналіз мікроструктури поверхонь тертя з використанням оптичної та електронної мікроскопії. Виявлено, що модифіковані зразки характеризуються дрібнозернистою структурою з рівномірно розподіленими включеннями наповнювача, які виконують функцію твердих мастильних фаз. У місцях локальної пластичної деформації спостерігаються зони ущільнення, що додатково підвищують опір зношуванню. Результати досліджень свідчать про ефективність використання комплексного підходу до оцінювання трибологічних характеристик матеріалів деталей машин. Розроблена методика може бути використана для прогнозування ресурсу елементів,

що працюють у ґрунтовому та пиловому середовищах, а також для оптимізації складу композиційних матеріалів з підвищеною зносостійкістю. Подальші дослідження планується спрямувати на моделювання процесів зношування із застосуванням методів чисельного аналізу та визначення енергетичних критеріїв пошкоджуваності матеріалів при складних режимах тертя.

Експериментальні дослідження проводилися з використанням машин тертя типу СМТ-1 із можливістю регулювання навантаження, швидкості ковзання і кута атаки абразивних частинок. Для реєстрації параметрів процесу застосовувалися тензометричні датчики зусилля та термопари типу ХА, підключені до комп'ютерної системи збору даних. Температура в зоні тертя контролювалася безконтактним пірометром з точністю ± 1 °С.

Вимірювання лінійного зношування проводили методом масових втрат із застосуванням аналітичних ваг точністю 0,001 г. Для контролю геометрії поверхні після випробувань використовували профілометр типу ПМТ-3, що дозволив визначати глибину борозен та шорсткість R_a з точністю до 0,02 мкм. Аналіз мікроструктури поверхонь здійснювали за допомогою сканувального електронного мікроскопа, що дало змогу оцінити морфологію слідів тертя та характер руйнування поверхневих шарів.

Результати показали, що при використанні полімерних композицій з мінеральними наповнювачами спостерігається зменшення площі зони інтенсивного зношування на 30–40 %. На мікрофотографіях видно, що поверхня модифікованих зразків має щільнішу структуру з меншими ознаками мікрорізань та фрагментації. Для порівняння, немодифіковані полімери демонстрували глибокі сліди пластичного витіснення та утворення вторинних уламків, які сприяють подальшому руйнуванню.

Порівняльний аналіз різних матеріалів показав, що найвищу зносостійкість мають композити на основі поліаміду з 15 % базальтового пилу та 5 % графіту. Такі зразки демонструють коефіцієнт тертя 0,21–0,25 і мінімальні масові втрати (0,4–0,6 мг/год). Металополімери з мідним наповнювачем характеризуються підвищеною

теплостійкістю, проте мають більший коефіцієнт тертя через формування нестабільних трибоплівок.

Практичне застосування отриманих результатів можливе при виготовленні втулок, підшипників ковзання, ущільнюючих елементів і робочих поверхонь ґрунтообробних машин, які зазнають інтенсивного абразивного впливу. Впровадження матеріалів із підвищеною трибостійкістю дозволить збільшити міжремонтний період техніки на 20–30 % та зменшити витрати на технічне обслуговування.

Список використаних джерел

1. Gypka, A., Aulin, V., Mironov, D., Leshchuk, R., Yarema, I., Bukhovets, V., & Teslia, V. (2024). Structural and energetic self-organization of antifriction composite materials of car parts during friction and wear. *Problems of Tribology*, 29(2/112), 67-73.
2. Gypka, A., Yarema, I., Hevko, I., Leshchuk, R., Kobelnyk, V., Buhovets, V., & Pyndus, T. (2025). Research on thermoplastics under impact-abrasive wear. *Problems of Tribology*, 30(1/115), 74–84. <https://doi.org/10.31891/2079-1372-2025-115-1-74-84>
3. Aulin, Victor, et al. Tribodiagnosis of the surface damage of tribo-coupling parts materials during machine operation. *Procedia Structural Integrity*, 2024, 59: 428-435.

Віталій КУШИЦЬКИЙ

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності 208 «Агроінженерія»

Marcin CHOLUJ

магістр інженерії Державної академії

прикладних наук у Хелмі

Науковий керівник:

Сергій КОМАРНІЦЬКИЙ

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ КОЛІНЧАТИХ ВАЛІВ АВТОТРАКТОРНИХ ДВИГУНІВ

Використання сучасних матеріалів для відновлення колінчатих валів – це одна з найбільш перспективних тем у галузі ремонту та відновлення автотракторних двигунів. Сучасні матеріали, зокрема наноматеріали та сплави з підвищеною зносостійкістю, можуть значно покращити експлуатаційні характеристики відновлених деталей, продовжити термін служби двигунів і знизити вартість обслуговування.

13. Наноматеріали для відновлення колінчатих валів

Нанотехнології активно використовуються у багатьох галузях промисловості, і автотракторний ремонт не є винятком. Наноматеріали мають унікальні властивості завдяки своїй мікроскопічній структурі, що дозволяє значно підвищити зносостійкість, міцність і термостійкість матеріалів.

- **Нанопокриття:** Нанопокриття на основі металів або кераміки дозволяють створювати високостійкі до зношування та корозії поверхні. Такі покриття часто використовуються для зменшення тертя в робочих зонах колінчатих валів.

- **Нанодобавки в мастила:** Використання наночастинок (наприклад, сірки, оксиду цинку або молібдену) у моторних оливах може зменшити тертя і спрацювання колінчатого валу. Це дозволяє знижувати температуру нагріву вала та збільшувати ефективність двигуна.

- **Нанорозміри металів і сплавів:** Завдяки нанокристалічній структурі можна отримати матеріали з підвищеною міцністю і зносостійкістю, які ідеально підходять для відновлення колінчатих валів, особливо в умовах високих навантажень.

14. Сплави з підвищеною зносостійкістю

Вибір матеріалу для відновлення колінчатих валів визначається не лише його міцністю, але й здатністю витримувати високе навантаження та спрацювання. Існує кілька типів сплавів, які активно використовуються для цих цілей:

- **Сплави на основі хрому:** Хромовані сплави використовуються для відновлення поверхні колінчатих валів, оскільки хром має відмінні властивості щодо зносостійкості і корозійної стійкості. Ці покриття здатні витримувати значні механічні навантаження та агресивні середовища.

- **Сплави на основі нікелю:** Нікель є важливим елементом для виготовлення сплавів з підвищеною зносостійкістю. Відновлення колінчатих валів нікелевими сплавами дає можливість отримати поверхні, які мають високу стійкість до корозії та зносу, навіть в умовах високих температур.

- **Сплави на основі молібдену та вольфраму:** Молібден та вольфрам мають високу твердість і здатність витримувати високі температури. Їхні сплави можуть використовуватись для створення матеріалів з підвищеною термостійкістю, що особливо важливо для двигунів з високими температурними режимами.

- **Сталеві сплави з добавками бору і титану:** Сталь з бором і титановими добавками забезпечує високу міцність, твердість та зносостійкість, що робить її підходящою для створення відновлених колінчатих валів, здатних витримувати великі механічні навантаження.

15.Методи обробки та нанесення покриттів

Використання сучасних матеріалів для відновлення колінчатих валів не обмежується лише вибором сплаву. Важливими є також методи їх нанесення на поверхню, які дозволяють отримати бажану ефективність. Ось деякі з них:

- **Лазерне напилення:** Сучасні технології лазерного напилення дозволяють наносити на колінчаті вали високоякісні покриття з нано- та мікроструктурами, що покращують зносостійкість та термостійкість. Лазерна обробка також дозволяє зменшити деформацію матеріалу під час відновлення.

- **Плазмове напилення:** Використання плазмових струменів для нанесення покриттів дозволяє отримувати міцні та зносостійкі шари на поверхні колінчатих валів, що дозволяє суттєво збільшити їхній термін служби.

- **Електрохімічне осадження:** Цей метод застосовують для нанесення покриттів з матеріалів, таких як хром, нікель, молібден, для покращення їх зносостійкості і корозійної стійкості.

16.Переваги використання сучасних матеріалів

- **Збільшення терміну служби:** Використання наноматеріалів та зносостійких сплавів дозволяє значно збільшити термін служби колінчатих валів, знижуючи потребу в частому ремонті.

- **Зниження витрат на обслуговування:** Відновлені колінчаті вали з високоякісними покриттями потребують менше витрат на обслуговування та ремонт.

- **Покращення ефективності двигуна:** Зниження тертя та зносу позитивно впливає на ефективність роботи двигуна, що дозволяє знизити витрати пального та поліпшити загальні експлуатаційні характеристики.

Список використаних джерел

1. Дирда В.І., Мельянцов П.Т., Калганков, Є.В. та ін. Ремонт машин та обладнання: підручник для вищих навчальних закладів. Дніпропетровськ: Журфонд. 2015. 292 с.

2. Нижняк Д.В. Визначення показників надійності колінчатих валів автотракторних двигунів. *Inżynieria i technologia. 2014. Osiągnięć, projekty hipotezę.* (29.12.2014-30.12.2014). Warszawa. 2014. С.8-13.

3. Калганков Є.В. Деякі проблеми гідроабразивно-втомного зносу деталей об'ємного гідроприводу мобільних машин. Геотехнічна механіка: *Міжвід. Зб. Наук. Праць.* 2013. №108. С.133-142.

Віктор ОЛЕКСАНДРЕНКО

докт. Техн. Наук, професор

Мирослав СТЕЧИШИН

докт. Техн. Наук, професор

Андрій МАРТИНЮК

канд. техн. Наук, доцент

Микола БОРИС

канд. техн. Наук, доцент

Юрій НЕЛЮБІН

аспірант

Хмельницький національний університет

ВПЛИВ ВИДУ МЕХАНІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА ПРОЯВ ТОПОХІМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ІЗ ВРАХУВАННЯМ УМОВ РОБОТИ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Умови роботи деталей та елементів сільськогосподарської техніки характеризуються складністю та різноманітністю – від коливань штанг оприскувачів, довжина яких може досягати понад 20 м, як у німецького виробника HORSCH причепні оприскувачі Leeb TD та самохідні серії Leeb VN та Leeb VL мають довжину штанг 24 м, в процесі експлуатації внаслідок їх переміщення по нерівностям поля, що викликає розвиток втомних явищ в елементах їх несучих конструкцій в результаті циклічного перегину до динамічної взаємодії спряжених тертьових поверхонь у вузлах тертя кочення і тертя ковзання різноманітної сільськогосподарської техніки та процесів різання поверхонь робочих органів ґрунтообробної техніки абразивними частинками, що містяться у ґрунті.

Складнонапружений стан деталей сільськогосподарської техніки викликає їх зношування та поломку внаслідок критичного накопичення пошкоджуючих явищ. Розвиток пошкоджуючих процесів пов'язаний із зростанням в металі пружних

напружень [1, с. 68]. Запобіжними механізмами накопичення пружної енергії в матеріалі є явища реологічної (структурної) релаксації металу та топохімічні процеси між активними компонентами зовнішнього середовища і поверхневим шаром металу [2, с. 21].

Для проведення досліджень топохімічних процесів під час механічного навантаження металу було спроектовано та виготовлено комплекс установок. При цьому відправною позицією було розуміння необхідності реєстрації зміни складу оточуючого середовища. Адже, якщо протікає хімічна взаємодія активних компонентів повітря з поверхнею металу, повинен знижуватися вміст реагентів і зростати вміст продуктів, що утворюються. Тому всі випробувальні установки містили герметичні камери. Для аналізу складу газового середовища використовувалися газові хроматографи «Хроматек-Крістал 5000» та «Газохром 3101». Враховуючи умови навантаження деталей сільськогосподарської техніки, випробування проводили при циклічному згині зразків, терті ковзання, терті кочення, різанні металу. Дослідженню піддавалися зразки виготовлені з алюмінію, підшипникової сталі ШХ 15 та конструкційної сталі 45.

В результаті проведених досліджень, встановлено, що незалежно від виду механічного впливу на метал та типу самого металу між активними компонентами повітряного середовища та металом протікають однотипні топохімічні процеси (рис. 1) пов'язані із поглинанням кисню на окиснення металу та виділенням водню в результаті взаємодії металу поверхні зразка, активованого механічним впливом, з парами води (вологою), що міститься в повітрі.

Виявлено різний характер кінетики топохімічних процесів в залежності від виду механічного навантаження: затухаючий – при циклічному перегині та терті кочення, прямолінійний – при терті ковзання, параболічний – при різанні. Формування виду кінетичних залежностей обумовлено проявом ряду факторів: доступом активних компонентів повітря до активованого механічним навантаженням ювенільного металу, наявністю дифузійного бар'єру, пов'язаного з розміщеними на поверхні твердими продуктами топохімічних процесів та

швидкістю появи у металі активних центрів хімічної взаємодії. В результаті кінетичні залежності топохімічних перетворень розкривають реакцію металу на механічне навантаження та його здатність опиратися накопиченню критичних пружних напружень, що призводять до розвитку пошкоджуючих явищ.

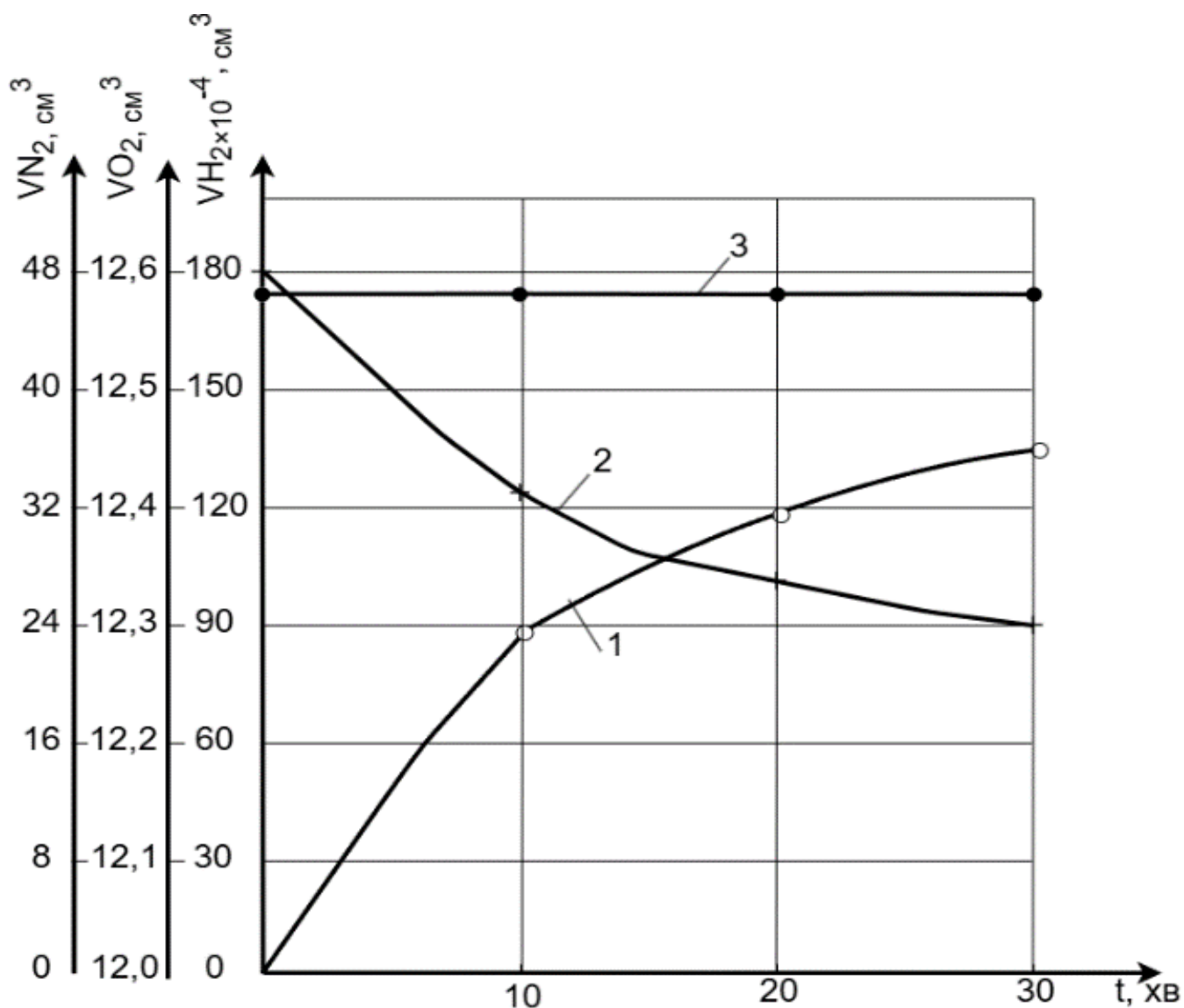


Рис.1 Кінетика топохімічних процесів при терті коченні:

1 – водень; 2 – кисень; 3 – азот

Виявлено суттєву залежність прояву топохімічних процесів від виду механічного навантаження. Це обумовлено як різною інтенсивністю підведення механічної енергії та, відповідно, пластичної деформації, яка ініціює появу та

розмноження в металі структурних дефектів: вакансій, дислокацій, спотворення ґратки, які стають центрами хімічних перетворень як відгуку металу на зовнішній вплив та його повернення у стабільний стан, так і наявністю твердих продуктів топохімічної взаємодії на поверхні металу, що піддається механічному впливу.

Найменша інтенсивність навантаження металу була в ході циклічного перегину – 1 згин за секунду. За час випробувань до втомного зламу зразка виділилося водню $9,3 \times 10^{-4} \text{ см}^3$, та поглинулося кисню $8,0 \times 10^{-2} \text{ см}^3$.

При терті кочення зростання об'єму синтезованого водню корелює із зростанням інтенсивності навантаження зразка, яка зростає в 14,2 рази і об'єм виділеного водню досягає $132,4 \times 10^{-4} \text{ см}^3$, що у 14,2 рази більше в порівнянні з циклічним перегином зразка. Об'єм витраченого кисню зростає до $29,4 \times 10^{-2} \text{ см}^3$, що у 3,7 рази більше у порівнянні з циклічним перегином.

При терті ковзанні інтенсивність передеформування поверхні знизили до $7,5 \text{ с}^{-1}$, однак прояв топохімічних процесів значно прискорився. В ході дослідження було синтезовано водню $2570,0 \times 10^{-4} \text{ см}^3$, а поглинуто кисню $470,0 \times 10^{-2} \text{ см}^3$, що, відповідно, в 19,4 та 16 разів перевищує об'єми, які спостерігалися при терті кочення. Це обумовлено відмінними особливостями забезпечення рівноважного стану поверхні в процесі тертя ковзання у порівнянні з циклічним перегином та тертям кочення.

Найбільш інтенсивна пластична деформація металу відбувається при різанні – 25 с^{-1} . Протягом лише 5 хвилин було синтезовано $1200 \times 10^{-4} \text{ см}^3$ водню та поглинуто $114 \times 10^{-2} \text{ см}^3$ кисню.

В результаті проведених досліджень встановлена залежність прояву топохімічних процесів від інтенсивності та виду механічного навантаження, як захисної реакції металу на виникнення пошкоджень. Отримані результати дозволяють глибше зрозуміти природу топохімічних процесів при механічному навантаженні, а отже знаходити шляхи підвищення тривалої міцності деталей вузлів сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

1. Трибохимия и реология износостойкости: Монография /В.В. Шевеля, В.П. Олександренко. – Хмельницький: ХНУ, 2006. – 278 с.
2. Шевеля В.В. Процеси механічної і хімічної релаксації при динамічному навантаженні металів / В.В. Шевеля, В.П. Олександренко, Г.С. Калда // Машинознавство. – 2003. – № 2. – С. 21-26.

Дмитро СЛОБОДЯН

здобувач вищої освіти 2 курсу ОС «Магістр»

спеціальності Н7 «Агроінженерія»

Науковий керівник:

Владлен ДЕВІН

канд. техн. Наук, доцент

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

ДОСЛІДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЗНОШУВАННЯ НАРАЛЬНИКОВИХ СОШНИКІВ

Зношування робочих органів сільськогосподарських машин – одна з ключових причин втрат технічної ефективності та збільшення експлуатаційних витрат. Особливу увагу заслуговують наральникові сошники (робочі органи для розрізання та формування борозни при посіві), оскільки їх геометричні зміни прямо впливають на глибину та якість загортання насіння, витрати палива й ресурс самої сівалки [1, с. 16].

Геометричні параметри, що змінюються при експлуатації, – це лінійні похибки (стиск кромки), радіуси заокруглення ріжучої частини, товщина леза, ширина та кут нахилу робочої поверхні. Для їхнього визначення застосовують комбінований підхід: макрометричні вимірювання (послідовні заміри до/після наробітку), 2D/3D сканування (для побудови профілю в поперечному перерізі), мікроструктурні аналізи та прискорені лабораторні тести на абразивне зношування [2, с. 46].

Результати польових випробувань доповнюють лабораторні і дають змогу виділити зони та інтенсивність зносу.

Експерименти показують, що найбільше зношуються фронтальна (ріжуча) кромка та нижня частина сошника – саме вони безпосередньо контактують з абразивним середовищем ґрунту. За наробітку від декількох гектарів лінійне зношування може варіювати у широких межах – від одиниць до десятків міліметрів

в залежності від типу ґрунту, вмісту піску та каменів . Встановлено також, що кислотність і абразивність ґрунту істотно впливають на характер зносу [2, с. 47].

Форма і радіус ріжучої кромки визначають розподіл контактних напружень у точці взаємодії з ґрунтом. Гостріші кути дають меншу площу контакту – вищі контактні напруження і більш локалізоване (швидке) абразивне зношування; більш закруглені профілі розподіляють напругу, але збільшують силові опори (сили зрізу), що може підвищити витрати енергії. У ряді досліджень пропонуються оптимальні радіуси і кути, які мінімізують сумарні витрати (енергія + матеріал) при заданих ґрунтових умовах.

Підвищення ресурсу сошників досягають як конструктивними заходами (замінні зубці, змінні пластини), так і застосуванням зносостійких матеріалів: цементовані карбіди, борвмісні сталі, наплавлення зносостійкими шарами. Дослідження показали, що додаткові підсилювальні елементи з карбіду значно знижують швидкість зносу у порівнянні з монолітними сталевими виробами, хоча економічна доцільність залежить від вартості відновлення/заміни [3, с. 1237].

Для кількісної оцінки зносу використовують величини: лінійне зношування (мм на одиницю пробігу), зменшення товщини, зміни кутів та маси. Нові підходи включають статистичний аналіз розподілу параметрів і математичне моделювання процесу зношування з урахуванням механіки контакту та абразивного впливу. Такі моделі дають змогу прогнозувати ресурс за різних технологічних режимів .

Практичні рекомендації

1. Регулярні вимірювання профілю – моніторинг геометрії дозволяє вчасно планувати відновлення або заміну робочих органів.

2. Диференційований вибір матеріалів – для кам'янистих та піщаних ґрунтів використовувати більш тверді підсилення; для родючих, м'яких ґрунтів – оптимізувати форму для енергозбереження.

3. Модульність конструкції – застосування змінних губок або наплавлених захисних елементів спрощує ремонт і знижує експлуатаційні витрати.

Дослідження геометричних параметрів зношування наральникових сошників показують, що одночасне врахування форми профілю, матеріалу та ґрунтових умов

дозволяє оптимізувати ресурс та зменшити експлуатаційні витрати. Подальший розвиток – у напрямку інтеграції 3D-сканування профілів, статистичних моделей та експериментальних баз даних для точного прогнозування ресурсу та обґрунтованого вибору відновлювальних технологій.

Список використаних джерел

1. Бойко А. І., Харьковський І. С., Свірень М. О. Дослідження зусиль, які діють на робочу частину сошника // Техніка і технології АПК. 2006. № 9. С. 15–18.
2. Дослідження удосконалення відновлення дисків сошників // Вісник Львівського національного аграрного університету. Серія: Агроінженерні дослідження. 2012. Вип. 16. С. 45–50.
3. Kostencki P., Szymanski K., Szydło S. Wear of cultivator coulters reinforced with cemented-carbide plates // Wear. 2019. Vol. 426–427. P. 1235–1244. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.12.021>
4. Rosu B., Ciuperca R., Munteanu M. Aspects Regarding the Physical Parameters and Wear in Coulter Discs // Agriculture. 2024. Vol. 14 (3). P. 320. <https://doi.org/10.3390/agriculture14030320>

Мирослав СТЕЧИШИН

доктор технічних наук, професор

Микола ЛУК`ЯНЮК,

канд. техн. Наук, доц.

Андрій МАРТИНЮК,

канд. техн. Наук, доц.

Микола БОРИС

канд. техн. Наук, доц.

Заклад вищої освіти «Хмельницький національний університет»

ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН МОДИФІКАЦІЄЮ БЕЗВОДНЕВИМ АЗОТУВАННЯМ В ТЛІЮЧОМУ РОЗРЯДІ

Актуальним питанням всіх ґрунтообробних машин є зносостійкість робочих органів (РОГМ). Дана проблема суттєво впливає на якість і ефективність виконання технологічних процесів обробки ґрунту. Цей фактор, в кінцевому варіанті має вирішальний вплив на продуктивність процесу вирощування продукції агропромислового комплексу.

На сьогодні виробниками застосовуються різноманітні методи підвищення довговічності РОГМ, в тому числі і хіміко-термічні методи зміцнення їх поверхонь.

Однак, як показав аналіз літературних джерел, та проведених досліджень, азотування в тліючому розряді, як метод зміцнення РОГМ майже не застосовувалось [1, с. 172, 2, с. 9], за винятком досліджень, що проводилися в умовах Подільського наукового фізико-технологічного центру (ПНФТЦ) Хмельницького національного університету.

Нами здійснювалися спроби підвищення зносостійкості РОГМ шляхом поверхневої модифікації безводневим азотуванням в тліючому розряді (БАТР) [3, с. 123].

Дослідження виконувалися в умовах ПНФТЦ на обладнанні сконструйованому і виготовленому в умовах центру.

Робочі органи ґрунтообробних машин що піддавалися модифікації представлені в табл.1.

Таблиця 1 – РОГМ після модифікації безводневим азотуванням

Дискова борона (типу «Ромашка»)	Лемішплуга	Долото плуга	Стрільчата лапа культиватора
			

Процес модифікації здійснювали за режимом БАТР, отриманим в попередньо виконаних дослідженнях [4, с. 125]:

- склад газового середовища—75% N₂ + 25% Ar;
- температура процесу насичення – 835 К;
- тиск у розрядній камері – 160 Па;
- тривалість процесу насичення – 6 годин;
- густина струму – 15,85 А/м²;
- питома потужність – 11,1кВт/м².

Виміри твердості за шкалою HRC, та мікротвердості HV_{0,1} до і після модифікації РОГМ показали:

- попередня твердість (після гартування) понизилася;
- поверхнева твердість (після азотування) зросла.

Пояснюється це тим, що в процесі модифікації на поверхні металу утворюється зміцнений шар, який складається з послідовно розміщених фаз : ϵ -фазу (Me₂₋₃N) або γ' -фазу (Me₄N) та дифузійну зону (зона внутрішнього азотування – азотистий α -твердий розчин (α +Me[N])). Нітридна зона, що містить лише γ' -фазу, характеризується високою пластичністю, а зона, що містить ϵ -фазу має значно

меншу пластичність, але вищу твердість. Під цим шаром знаходиться дифузійний шар, який складається з великих і дрібних утворень. Ідентифікація по мікротвердості показала, що великі включення являють собою γ' -фазу Fe_4N , а дрібні складаються з азотистого α -твердого розчину. Концентрація азоту, знижується від поверхні в глибину металу, а відповідно і твердість також [5, с. 57].

Результати вимірювання твердості та мікротвердості РОГМ приведені в таблиці 2.

Таблиця 2 – Твердість і мікротвердість робочих органів ґрунтообробних машин до і після модифікації

№ /п	Робочий орган	Матеріал	Твердість робочих органів HRC/HV _{0,1}	
			немодифікованих	модифікованих
1	Дискова борона	9X18	50/450	40/800
2	Леміш плуга	9XC	50/360	42/650
3	Долото плуга	9XC	50/440	38/650
4	Лапа культиватора	9X18	50/460	43/810

Цей факт дозволяє зробити висновок, що зниження загальної твердості суттєвого впливу на зносостійкість не матиме, а підвищення поверхневої мікротвердості, як показали наші дослідження, сприяє підвищенню зносостійкості [5, с. 57, 6, с. 55].

Таким чином можна зробити висновок, що застосування БАТР є доречним і перспективним способом підвищення зносостійкості РОГМ.

Список використаних джерел

1. Денисенко М.І., Войтюк В. Д. Зміцнення лез ґрунтообробних робочих органів сільськогосподарських машин з утворенням ефекту самозагострювання. Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів. №6, 2016. – С.175-182.

2. Аулін, В. В. Трибофізичні основи підвищення зносостійкості і надійності робочих органів ґрунтообробних машин з різальними елементами: монографія / В. В. Аулін, А. А. Тихий. – Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2017. – 278 с.

3. Стечишин М.С. Зносостійкість лап культиватора, що модифіковані азотуванням в тліючому розряді / М. С. Стечишин, М. В. Лук'янюк, В. П. Олександренко, А. В. Мартинюк, Ю. М. Білик // Сільськогосподарські машини: Зб. Наук. Статей. – Вип. 44. – Луцьк, 2020. – С.123-134.

4. Пастух І. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. Харьков: Национальный научный центр «Харьковский физико–технический институт», 2006. – 364с.

5. Стечишин М. С. Вплив енергетичних і режимних параметрів на фазову структуру і мікротвердість іонно–азотованих конструкційних сталей / М. С. Стечишин, Г. М. Соколова, Ю. М. Білик // Проблеми тертя та зношування.-К.:НАУ, 2017.- , №2 -С.56-64.

6. Stechyshyn M.S. Strength and Plasticity of the Surface Layers of Metals Nitrided in Glow Discharge. / Stechyshyn, M.S., Stechyshyna, N.M., Martynyuk, A.V., Luk'yanyuk, M.M. // Materials Science: Springer (USA). – 2018. – 54 (5). – PP. 55 – 60.

Назар ЧОРНОГРИЦЬКИЙ

здобувач 2-стн курсу, 208 «Агроінженерія»

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Василь ТКАЧУК

кандидат технічних наук, доцент

асистент кафедри технічного сервісу і

загальнотехнічних дисциплін

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»

Piotr PENKALA

доктор з інженерії, доцент

директор Інституту технічних наук та авіації

Державної академії прикладних наук у Хелмі

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРТЯ ТА ЗНОШУВАННЯ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

У статті проведено всебічне дослідження процесів тертя та зношування деталей сільськогосподарської техніки. Визначено основні закономірності взаємодії поверхонь при терті, особливості їх роботи у ґрунтовому середовищі, а також фактори, що впливають на інтенсивність зношування. Розглянуто сучасні підходи до підвищення зносостійкості деталей за допомогою вибору матеріалів, покриттів і мастильних матеріалів. Запропоновано практичні рекомендації щодо зменшення інтенсивності тертя у вузлах машин.

У сучасному аграрному виробництві ефективність використання машинно-тракторного парку значною мірою залежить від надійності та довговічності деталей. Техніка працює у важких умовах – на запилених полях, при високій вологості, змінних температурах і навантаженнях. Найбільше піддаються впливу процесів тертя й зношування робочі органи ґрунтообробних машин, вузли трансмісій, підшипники, вали, лемеші, сошники та ножі комбайнів.

За статистикою, близько 40–60% відмов у сільськогосподарських машинах пов'язано саме із зношуванням деталей. Втрата маси металу, зміна геометрії та шорсткості поверхонь спричиняють зниження продуктивності й збільшення енергоспоживання. Тому питання дослідження тертя та розробки способів зменшення зношування мають першочергове значення для підвищення надійності машин.

Метою роботи є вивчення закономірностей тертя та зношування деталей сільськогосподарської техніки і визначення шляхів підвищення їх зносостійкості.

Основні завдання дослідження:

- визначити типи зношування, характерні для сільськогосподарських машин;
- дослідити вплив навантаження, швидкості ковзання та мастила на коефіцієнт тертя;
- оцінити ефективність використання зносостійких матеріалів і покриттів;
- розробити практичні рекомендації для зниження інтенсивності зношування.

Теоретичні основи процесів тертя та зношування

Тертя – це опір руху, який виникає при відносному переміщенні двох контактуючих тіл. Залежно від умов роботи виділяють чотири режими тертя: сухе, граничне, змішане та рідинне. Для деталей сільськогосподарської техніки найчастіше характерне сухе або граничне тертя, оскільки мастильний шар у польових умовах часто руйнується.

Зношування – це процес поступової втрати матеріалу поверхні. Найпоширеніші види зношування: абразивне, адгезійне, корозійно-механічне та втомне. У ґрунтовому середовищі основним є абразивне зношування, яке спричиняється дією твердих мінеральних частинок ґрунту. Вони проникають у зону контакту та діють як мікрорізці, руйнуючи поверхню.

Методика проведення експериментальних досліджень

Для вивчення процесів тертя було використано трибометр типу «диск–колодка». Дослідження проводилися при навантаженнях 50–300 Н і швидкості ковзання 0,1–0,5 м/с. Випробовували зразки зі сталей 45, 40Х і 65Г у різних станах

термообробки. Частина зразків мала нітридне покриття (TiN) товщиною 5–10 мкм. У якості мастильного матеріалу використовували індустріальну оливу I-40A.

Вимірювалися:

- коефіцієнт тертя;
- масова втрата зразка після 60 хв роботи;
- мікроструктура поверхні після тертя (оптична мікроскопія);
- твердість і мікротвердість поверхневого шару.

Для оцінки зносостійкості використовували критерій масової втрати Δm (мг) і питомої інтенсивності зношування $I_z = \Delta m / (F \cdot n)$, де F – навантаження, n – кількість обертів.

Отримані результати показали, що зі збільшенням навантаження коефіцієнт тертя зростає від 0,12 до 0,18. Загартовані сталі мали меншу інтенсивність зношування, ніж незагартовані. Найкращі показники продемонструвала сталь 40X із нітридним покриттям – її зносостійкість перевищувала незміцнену сталь у 1,8 рази.

Таблиця 1. Вплив матеріалу на коефіцієнт тертя та масову втрату

Матеріал	Стан обробки	Коеф. тертя	Втрата маси, мг
Сталь 45	без термообробки	0,17	14,5
Сталь 40X	загартована	0,14	10,2
Сталь 40X	з покриттям TiN	0,12	7,8
Сталь 65Г	загартована	0,15	9,1

Отже, покриття на основі нітриду титану дозволяють істотно знизити тертя й покращити стабільність поверхонь тертя.

Аналіз і обговорення результатів

Зменшення коефіцієнта тертя при використанні нітридних покриттів пояснюється зниженням адгезійної взаємодії між поверхнями. Водночас підвищення твердості сприяє зменшенню мікрорізання абразивними частинками. Мастильні матеріали забезпечують додатковий захисний шар, який знижує температуру тертя й запобігає схоплюванню.

Дослідження підтвердили, що комбінування методів – зміцнення матеріалу, нанесення покриття й використання якісного мастила – забезпечує найвищу ефективність. У реальних умовах експлуатації сільськогосподарських машин це дозволяє збільшити строк служби деталей у 1,5–2 рази.

1) Для деталей, що контактують із ґрунтом (лемеші, лапи, сошники), рекомендується використовувати сталі 40Х або 65Г з поверхневим зміцненням.

2) Для підшипників і ковзних пар – застосовувати мастила з протизношувальними присадками (MoS₂, графіт).

3) Застосування захисних покриттів типу TiN, CrN, WC підвищує ресурс деталей до 70%.

4) Рекомендується проводити регулярну перевірку стану вузлів і уникати роботи при надмірних навантаженнях.

5) Використання герметизації підшипникових вузлів запобігає попаданню пилу та вологи.

1. Основним видом зношування деталей сільськогосподарської техніки є абразивне, обумовлене дією частинок ґрунту.

2. Підвищення твердості поверхневого шару і нанесення покриттів зменшують інтенсивність зношування на 40–60%.

3. Найефективніше поєднання – загартування сталі 40Х із нітридним покриттям та застосування мастил із присадками.

4. Результати досліджень мають практичне значення для підвищення надійності ґрунтообробних машин, сівалок і комбайнів.

5. Подальші роботи слід спрямувати на використання композитних матеріалів і моделювання процесів тертя методом скінченних елементів.

Список використаних джерел

1. Андреев В. М. Трибологія: теорія тертя, зношування і мастила. Київ. Наукова думка, 2020.

2. Ковальчук П. І., Ткаченко Ю. С. Довговічність деталей машин. Харків: ХНТУСГ, 2019.

3. Черненко О. В. Зносостійкі матеріали для сільськогосподарської техніки. Львів: ЛНАУ, 2021.
4. ISO 7148-2:2012. Plain bearings. Testing of the tribological properties of bearing materials.
5. Чепурний П. І. Трибологічні властивості зміцнених сталей для аграрної техніки. Київ: Аграрна наука, 2022.

СЕКЦІЯ 7
ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА
THERMAL ENERGY

Петро ЛАВРЕНЮК

здобувач ступеня доктора філософії
спеціальності 133 Галузеве машинобудування

Науковий керівник:

Віталій ЯРОПУД

докт. техн. наук, доцент

Вінницький національний аграрний університет

**CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СУШІННЯ ТА ЗМІШУВАННЯ У
КОНВЕКТИВНІЙ СУШАРЦІ ВОЛОСЬКИХ ГОРІХІВ**

Проблема підвищення ефективності процесів сушіння сільськогосподарської продукції, зокрема волоських горіхів, залишається актуальною через високу енергоємність традиційних сушарок і нерівномірність тепломасообміну в робочому об'ємі [1]. Одним із перспективних напрямів є використання конвективних сушарок із гвинтовим робочим органом і вдосконаленими дисковими розподільниками повітря. Для аналізу аеродинамічних характеристик таких систем застосовано метод CFD (Computational Fluid Dynamics) – обчислювальної гідродинаміки, що дозволяє візуалізувати структуру потоків і визначити оптимальні параметри конструкції без трудомістких експериментів.

Матеріали та методи CFD-моделювання. Для дослідження внутрішньої аеродинаміки сушарки проведено чисельне моделювання в середовищі Simcenter Star-CCM+. Розглядалися два варіанти дискових розподільників: гладкий (без рифлей) і рифлений у формі спіралей. Геометрія включала повітропровід, розподільник та сушильну камеру. На вхідному отворі задано швидкість повітряного потоку 8,84 м/с, температура – 60 °С. Моделювання виконано з

використанням моделі турбулентності $k-\epsilon$ та рівнянь Нав'є-Стокса. Для аналізу руху частинок застосовано багатофазову Ейлерову модель, що враховує взаємодію газової та твердої фаз.

Результати дослідження. На рисунку 1 представлено розподіл повітряного потоку та траєкторії його руху в порожнині конвективної сушарки з дисковим розподільником конусоподібної форми без рифлей (а) та з рифленням у вигляді спіралей (б). Формується закручений гвинтоподібний потік із вираженою осьовою складовою, який забезпечує рівномірне охоплення всього об'єму сушильної камери. Це сприяє підвищенню інтенсивності тепломасообміну та зменшенню застійних зон. Для гладкого розподільника характерна переважно радіальна течія з меншим ступенем турбулентності.

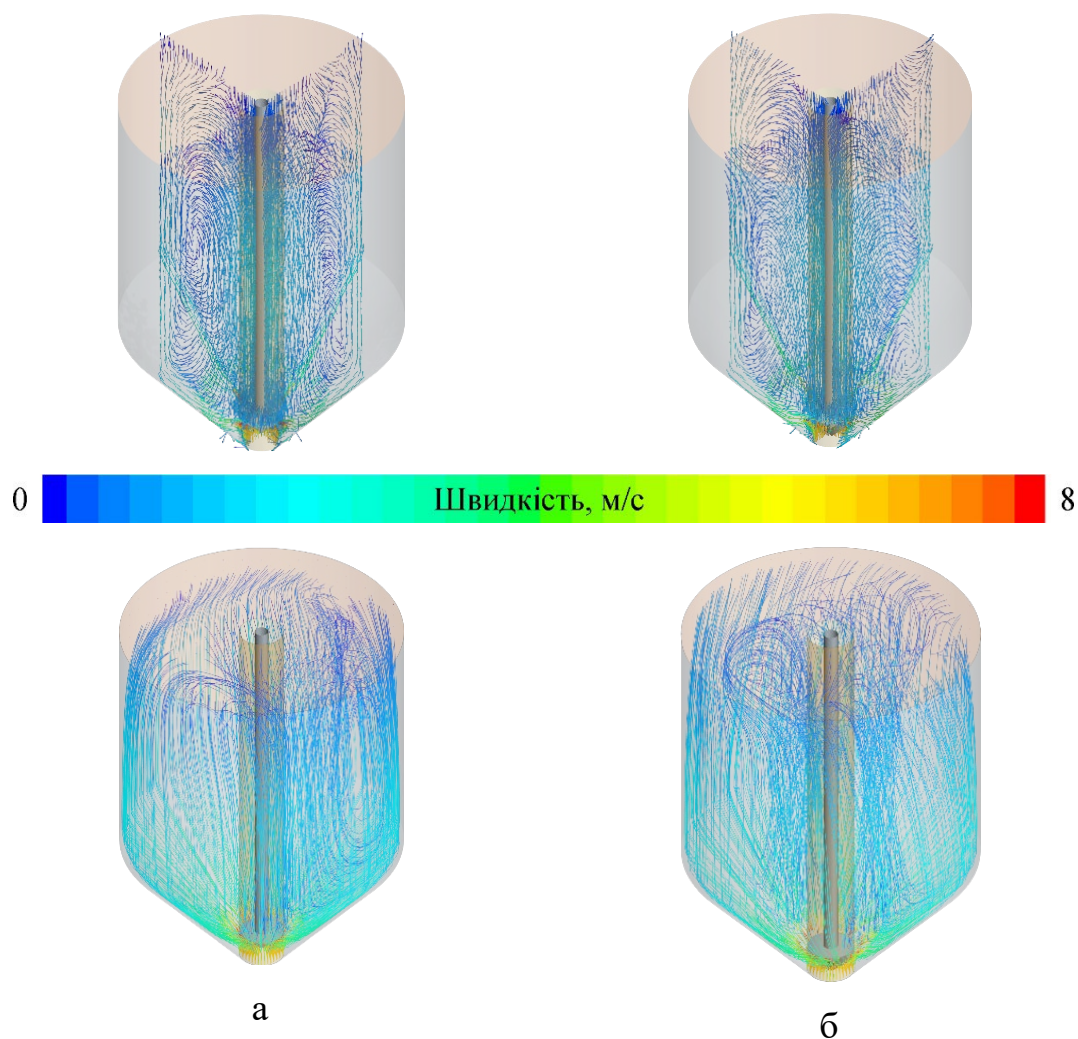


Рис.1 Розподіл повітряного потоку та траєкторії його руху в порожнині конвективної сушарки з дисковим розподільником конусоподібної форми без рифлей (а) та з рифленням у вигляді спіралей (б)

Під час моделювання змішування плодів волоських горіхів під дією гвинтового робочого органу встановлено, що рух матеріалу має циркуляційний характер із багаторазовою зміною положення частинок у робочій зоні. Повне перемішування досягається за $t = 864$ с, що відповідає одному повному циклу циркуляції продукту [2]. Підвищення частоти обертання гвинта прискорює цей процес до моменту виникнення неорганізованих турбулентних зон.

Результати моделювання дозволили отримати аналітичні залежності часу змішування та продуктивності процесу (рис. 2):

$$t = 2040,56 - 24,3833\alpha + 0,2891\alpha^2 - 0,244H - 0,0047\alpha H + 0,0003H^2 - 31,9833n + 0,0011\alpha n + 0,0001Hn + 0,1602n^2; \quad (1)$$

$$Q = 1,354 - 0,0092\alpha - 0,0002H - 0,0537n + 0,00005Hn + 0,0011n^2. \quad (2)$$

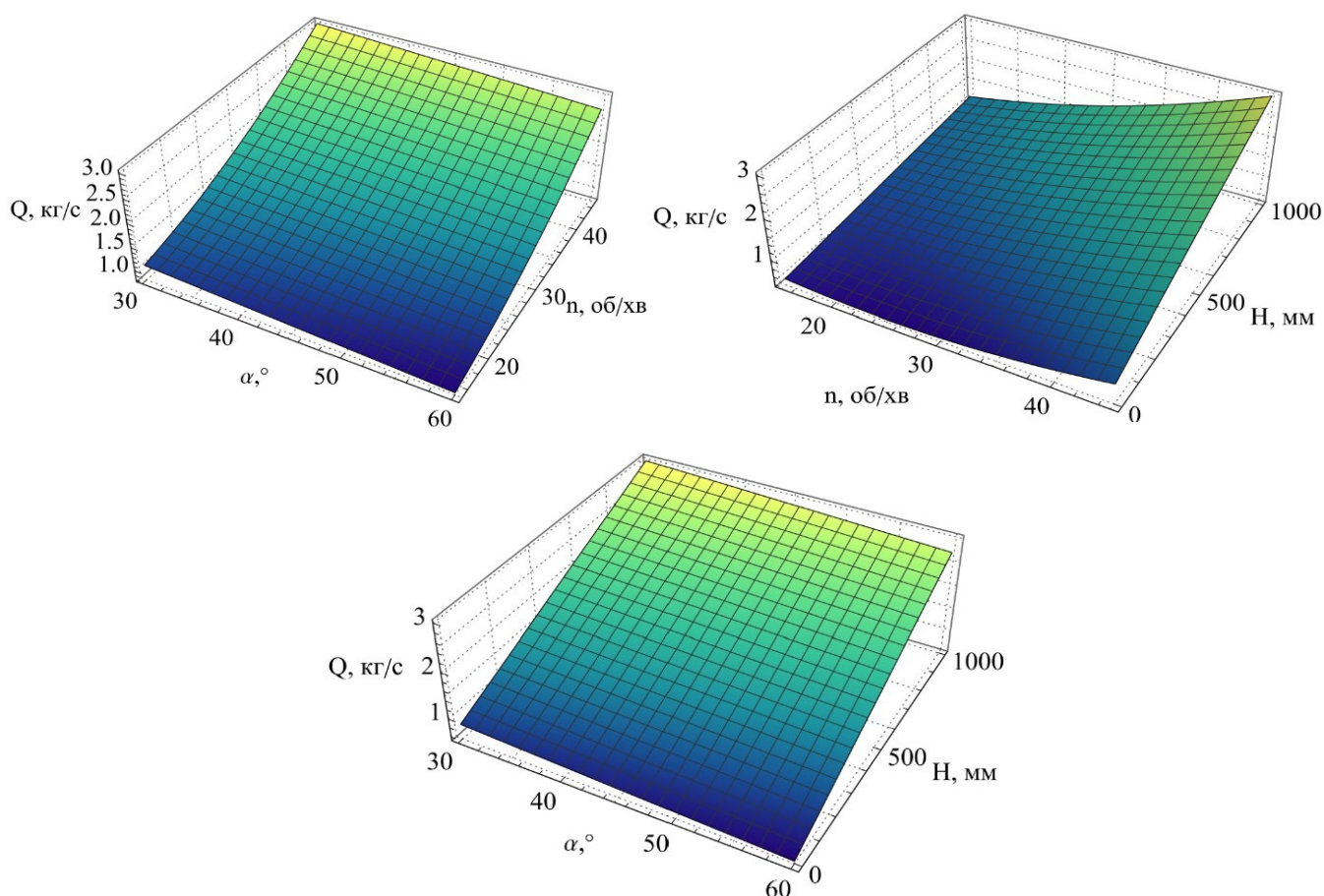


Рис. 2 Залежність продуктивності процесу змішування шарів волоських горіхів у конвективній сушарці (Q , кг/с) від частоти обертання гвинта n (об/хв), кута нахилу сітки α ($^{\circ}$) та висоти заповнення бункера H (м)

Оптимальні значення факторів при мінімальному часі сушіння ($t = 282$ с) і максимальній продуктивності ($Q = 2,1$ кг/с): $\alpha = 46,5^\circ$, $n = 43$ об/хв, $H = 711$ мм. При цих параметрах досягається рівномірне змішування шару горіхів і стабільний тепловий баланс у камері.

Отримані CFD-результати підтверджують ефективність використання рифленого дискового розподільника. Він створює закручену структуру повітряного потоку, що підсилює конвекцію, зменшує градієнт температури у шарі продукту та забезпечує рівномірне видалення вологи з поверхні горіхів. Таким чином, удосконалена конструкція сприяє зниженню енергоспоживання і покращенню якості кінцевого продукту.

1. CFD-моделювання дозволило детально дослідити структуру потоків повітря і рух матеріалу в робочому камері сушарки.

2. Встановлено, що використання рифленого дискового розподільника забезпечує закручену циркуляцію повітря, рівномірне сушіння та інтенсифікацію теплообміну.

3. Оптимальні параметри ($\alpha = 46,5^\circ$, $n = 43$ об/хв, $H = 711$ мм) забезпечують продуктивність $2,1$ кг/с і скорочують час повного перемішування до 282 с.

Список використаних джерел

1. Яропуд В.М., Лавренюк П.П. Шляхи удосконалення конструкції конвективної сушарки волоських горіхів. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2023. № 1 (120). С. 120-131. DOI: 10.37128/2520-6168-2023-1-14

2. Kaletnik H., Yaropud V., Kupchuk I., Aliiev E., Babyn I., Lavreniuk P. Modeling of the technological process of walnut drying in a convective dryer. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99, № 12. P. 91–97. DOI: <https://doi.org/10.15199/48.2023.12.17>

CFD-АНАЛІЗ ВПЛИВУ ФОРМИ КАНАЛІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПОБІЧНО-ВИПАРНОГО ТЕПЛООБМІННИКА

Вступ. Сучасні тваринницькі комплекси характеризуються високою щільністю утримання поголів'я, що вимагає ефективного забезпечення мікроклімату. Одним із найенергоємніших процесів є вентиляція, тому актуальним напрямом є використання рекуперативних теплообмінників побічно-випарного типу, які дозволяють утилізувати теплоту витяжного повітря без змішування повітряних потоків. Вибір форми каналів теплообмінника істотно впливає на його енергоефективність, а отже – і на загальні енергетичні витрати системи мікроклімату [1].

Матеріали і методи. Чисельне моделювання процесів тепломасообміну виконано у середовищі Simcenter Star-CCM+ (рис. 1).

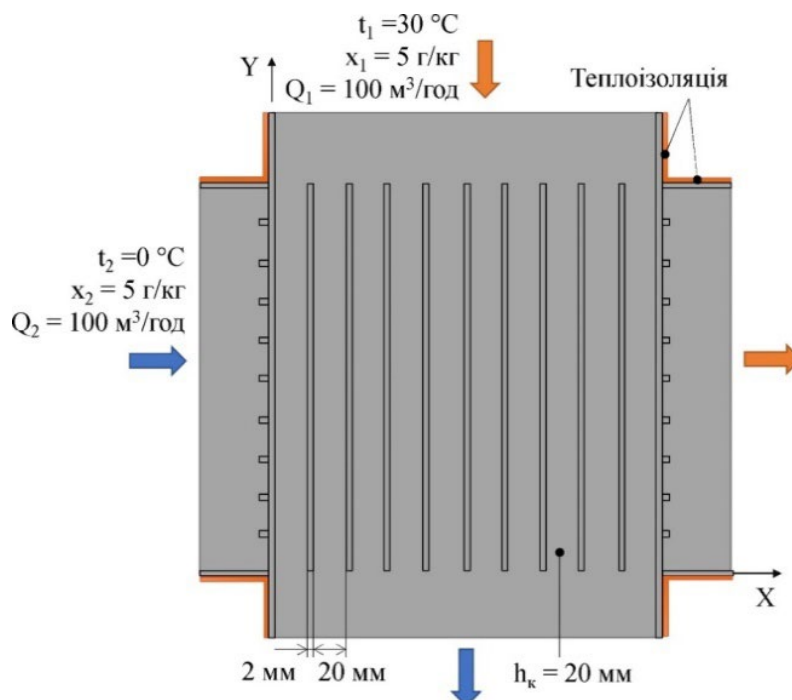


Рис. 1 – Геометричні розміри побічно-випарного теплообмінника і граничні умови моделювання

Застосовано тривимірну Ейлерову багатофазову модель із методом роздільної течії та об'ємної рідини (VOF). Потік описувався рівняннями Нав'є-Стокса та турбулентною моделлю k-ε. Досліджено три варіанти каналів теплообмінника: квадратної, круглої, трикутної форми (рис. 2).

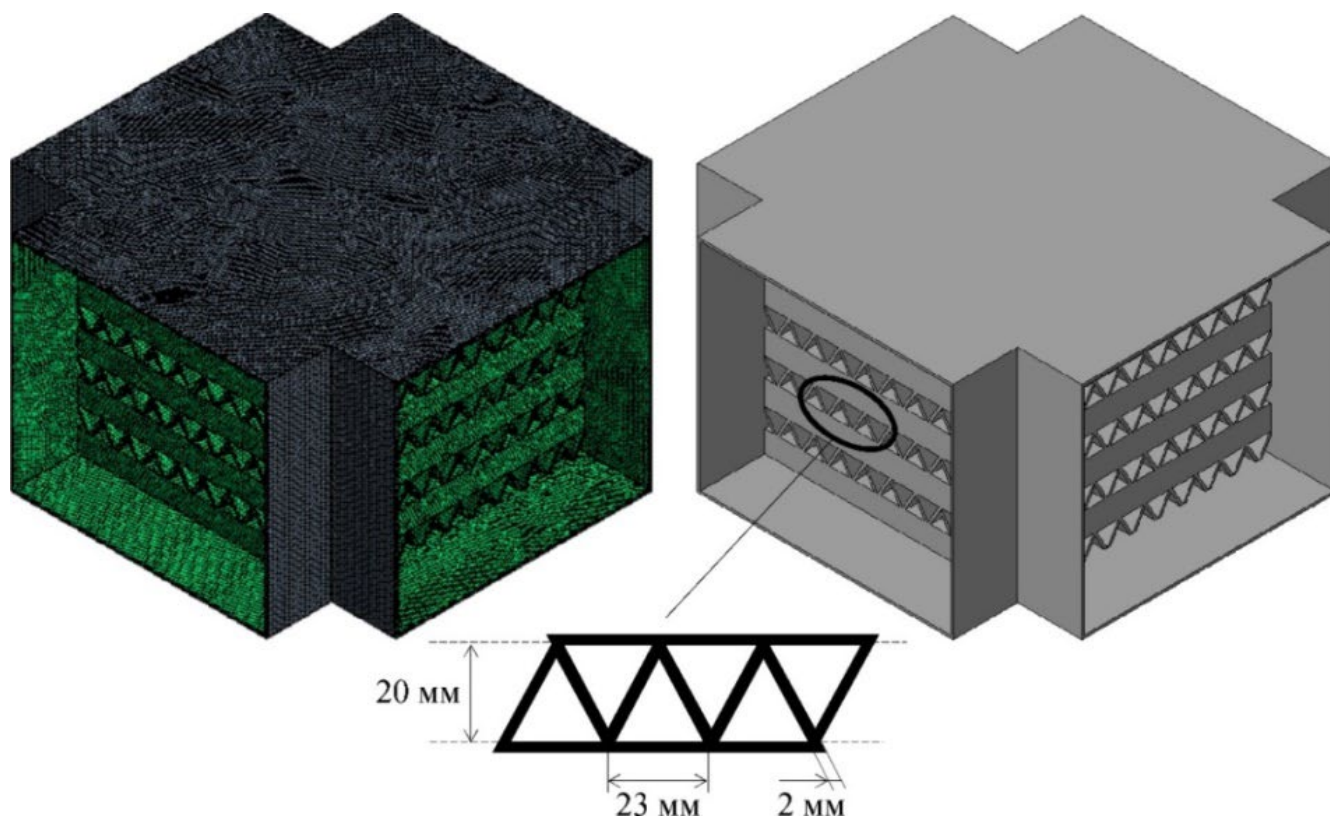


Рис. 2 – Схема розташування каналів і загальний вигляд розрахованої сітки теплообмінника побічно-випарного типу із трикутними каналами

Граничні умови: витрата повітря – $100 \text{ м}^3/\text{год}$ для обох потоків, температури на вході – $t_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C}$ (витяжне повітря), $t_2 = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ (припливне), абсолютна вологість – $x_1 = x_2 = 5 \text{ г/кг}$. Теплообмін з навколишнім середовищем не враховувався.

Результати дослідження. Розподіл температурного поля в моделі показав циліндричний характер течії незалежно від форми каналів, однак інтенсивність теплопередачі та характер розподілу температури суттєво відрізнялися. Для каналів трикутної форми зона теплообміну охоплює більшу частину перерізу, що сприяє кращому вирівнюванню температур і зменшенню локальних застійних зон. Температура холодного потоку підвищується від 0 до $10,3 \text{ }^\circ\text{C}$, теплого знижується

від 30 до 17,7 °С, а коефіцієнт температурної ефективності $\eta_t = 0,97$. Для квадратних каналів $\eta_t = 0,84$, для круглих – 0,74.

Уздовж каналів трикутної форми спостерігається більш рівномірний температурний градієнт, що зумовлено збільшенням питомої площі теплопередачі при однаковому гідравлічному діаметрі (рис. 3). Підвищена турбулентність біля кутових зон сприяє активнішому перемішуванню повітряних шарів, що інтенсифікує теплообмін без істотного зростання гідравлічного опору. Середня швидкість потоку становила 0,042 м/с, коефіцієнт варіації $\delta_v = 0,88$, що свідчить про стабільну течію.

У процесі аналізу вологісного поля встановлено, що при проходженні теплого повітря через канали відбувається поступове зменшення абсолютної вологості майже до 0,01 г/кг унаслідок конденсації водяної пари на охолоджених стінках.

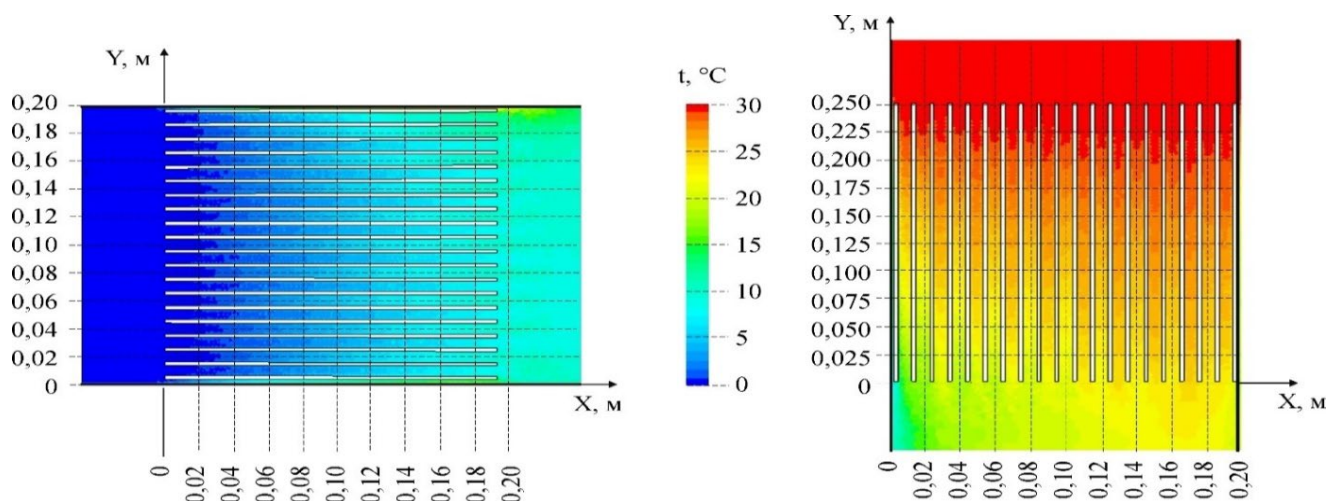


Рис. 3 – Повздовжній розподіл температурного поля в теплообміннику побічно-випарного типу із трикутними каналами

Температурні поля демонструють взаємну дію потоків через стінки теплообмінника: тепло витяжного повітря передається холодному, забезпечуючи стабільний підігрів припливного повітря без прямого контакту. Отримані дані підтверджують, що в разі застосування теплообмінника побічно-випарного типу з трикутними каналами забезпечується найвищий рівень рекуперації тепла. Це відкриває можливість використання таких теплообмінників у мехатронних системах

мікроклімату для стабілізації температури повітря у свинарських приміщеннях і зниження питомих енерговитрат на 10–15 %.

Обговорення результатів. Порівняльний аналіз підтвердив, що трикутна форма каналів забезпечує: найвищу температуру припливного повітря на виході; найменший перепад тиску; рівномірний розподіл швидкості потоку; ефективніше видалення вологи з теплого повітря. Отже, така геометрія є оптимальною для побічно-випарних теплообмінників систем мікроклімату свинарських приміщень, дозволяючи підвищити коефіцієнт тепловіддачі та зменшити енергоспоживання на 10–15 % порівняно з традиційними рекуператорами [2].

1. Проведено тривимірне чисельне моделювання процесу тепломасообміну у теплообміннику побічно-випарного типу з різною формою каналів.

2. Найвищу ефективність продемонструвала трикутна форма каналів, що забезпечує коефіцієнт температурної ефективності 0,97.

3. Застосування такої геометрії каналів у конструкції адаптивної мехатронної системи мікроклімату дозволяє суттєво підвищити енергоефективність тваринницьких приміщень.

Список використаних джерел

1. Калетнік Г.М., Яропуд В.М. Симуляція процесу тепломасообміну теплообмінника побічно-випарного типу. *Техніка, енергетика, транспорт АПК*. 2022. № 1 (116). С. 4–15. DOI: 10.37128/2520-6168-2022-1-1

2. Яропуд В.М. Експериментальні дослідження повітряного теплообмінника побічно-випарного типу. *Віб्राції в техніці та технологіях*. 2024. № 2 (113). С. 55–65. DOI: 10.37128/2306-8744-2024-2-6

Наукове видання

**СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС: ВИКЛИКИ І
МОЖЛИВОСТІ**

*Збірник матеріалів I Міжнародної науково-практичної
інтернет-конференції*

*16 жовтня 2025 року
(електронне видання)*

Матеріали друкуються в авторській редакції
Відповідальні за випуск ОЛЕНЮК О.А., БОНЧИК В.С.

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»
Кам'янець-Подільський – 2025