

**Міністерство освіти і науки України
Полтавський державний аграрний університет
Опольський університет (Польща)
Природничий університет у Любліні (Польща)
Філія АТ «Національний центр підвищення кваліфікації «Орлеу»
«Інститут професійного розвитку в Кизил-Ординській області» (Казахстан)
Чеський університет природничих наук (Чехія)
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького
Центральноукраїнський національний технічний університет
Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут
прогнозування та випробування техніки і технологій для
сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
Харківський державний професійно-педагогічний
фаховий коледж імені В. І. Вернадського**

**Збірник тез доповідей
I Міжнародної науково-практичної конференції
«Машинобудування, агроінженерія та автомобільний
транспорт: інновації і перспективи розвитку»**

21 травня 2026 року

**Abstract of papers presented at
1st International scientific and practical conference
“Mechanical engineering, agroengineering and automotive
transport: innovations and development prospects”**

21 May 2026

Полтава – 2026 – Poltava

**Міністерство освіти і науки України
Полтавський державний аграрний університет
Опольський університет (Польща)
Природничий університет у Любліні (Польща)
Філія АТ «Національний центр підвищення кваліфікації «Орлеу»
«Інститут професійного розвитку в Кизил-Ординській області» (Казахстан)
Чеський університет природничих наук (Чехія)
Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького
Центральноукраїнський національний технічний університет
Державна наукова установа «Український науково-дослідний інститут
прогнозування та випробування техніки і технологій для
сільськогосподарського виробництва імені Леоніда Погорілого»
Житомирський агротехнічний фаховий коледж
Харківський державний професійно-педагогічний
фаховий коледж імені В. І. Вернадського**

**Збірник тез доповідей
I Міжнародної науково-практичної конференції
«Машинобудування, агроінженерія та автомобільний
транспорт: інновації і перспективи розвитку»**

21 травня 2026 року

**Abstract of papers presented at
1st International scientific and practical conference
“Mechanical engineering, agroengineering and automotive
transport: innovations and development prospects”**

21 May 2026

Полтава – 2026 – Poltava

УДК [62+631.17+629.3](043)

Конференція проведена за підтримки Міністерства освіти і науки України та зареєстрована в ДУ «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації» (УкрІНТЕІ), посвідчення №228 від 31.01.2026 року.

Рекомендовано до видання Вченою радою інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету, протокол № 10 від 22.05.2026 року.

Редакційна колегія:

О. Канівець, Ю. Левченко, С. Ляшенко, С. Попов, І. Рожко,
К. Борак, О. Васильковський, В. Власовець, В. Дідур, Б. Елеусінов, В. Зубко,
В. Ковбаса, С. Лещенко, О. Сайчук, С. Самборські, С. Халін, С. Харченко, В. Шейченко

За загальною редакцією Олександри Біловод

Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «Машинобудування, агроінженерія та автомобільний транспорт: інновації і перспективи розвитку»: Збірник тез [Електронний ресурс]. – Полтава: ПДАУ. – 2026. – (PDF, 301 с.)

ISBN 978-617-8797-38-6

У тезах доповідей висвітлено результати наукових досліджень, присвячених актуальним проблемам і перспективним напрямкам розвитку машинобудування, агроінженерії, автомобільного транспорту, впровадженню інноваційних технологій, сучасних технічних рішень та підвищенню ефективності функціонування виробничих систем. Для наукових працівників, викладачів, здобувачів вищої освіти, аспірантів і докторантів закладів вищої освіти та наукових установ, керівників і фахівців підприємств машинобудівної, транспортної та агропромислової галузей, представників органів державного управління і місцевого самоврядування, а також усіх, хто цікавиться питаннями інноваційного розвитку техніки, технологій та інженерної освіти.

Відповідальність за зміст наданих матеріалів, точність наведених даних, а також відповідність принципам академічної доброчесності несуть автори. Матеріали видані в авторській редакції.

УДК [62+631.17+629.3](043)

ISBN 978-617-8797-38-6

© Автори тез, включені до збірника, 2026
© Полтавський державний аграрний університет, 2026

ЗМІСТ

Секція 1. Інноваційні технології та сучасні тенденції розвитку машинобудування

Васильєв Є. А., Попов С. В. УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЕЧІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ ВЛАШТУВАННЯМ РЕКУПЕРАЦІЙНОГО ТЕПЛООБМІННИКА	15
Басова Ю. О., Левченко Ю. В., Капиро Я. А. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КЛАСІВ МПК ТА МЕТОДИКА ПАТЕНТНОГО ПОШУКУ В ДОСЛІДЖЕННЯХ СИТ ПНЕВМОСЕПАРАТОРІВ ЗЕРНА	18
Басова Ю. О., Прілепо Н. В., Колесніченко А. А. ПАТЕНТНИЙ ЛАНДШАФТ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У МАШИНОБУДУВАННІ ТА СЕРВІСНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ	20
Барабаш Р. П. ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН	23
Сем'янчук А. І., Криштопа С. І., Криштопа Л. І. ПОКРАЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ МОБІЛЬНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ	26
Мисів О. О., Копильців Д. В., Криштопа С. І. ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСМІСІЙНИХ АГРЕГАТІВ	29
Матвієнко Р. М., Добуш А. І., Криштопа С. І. ПІДВИЩЕННЯ ККД НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ	32
Мирний О. Ю. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0	35
Макар О. З. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	37
Тристан В. О. ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НАНЕСЕННЯМ НІКЕЛЕВИХ ТОРЕЗТВЕРДОСПЛАВНИХ ПОКРИТТІВ	39

Тарасенко Д. С. ФУТЕРУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ КУЗОВА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ КАРТОПЛІ	41
Шкляр Ю. В., Канівець О. В. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ВАЛАХ ПІСЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ	43
Горюнов Б. О. ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ У МАШИНОБУДУВАННІ: ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА НАПЯМИ РОЗВИТКУ	46
Горюнов Б. О. НОВІТНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ: ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ	48
Горюнов Б. О. МАШИНОБУДУВАННЯ В УМОВАХ INDUSTRY 4.0: ТЕХНОЛОГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	50
Горюнов Б. О. ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ	52
Горюнов Б. О. ЕКОЛОГІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ	54
Добранський С. С. ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ ТА СВІТУ	56
Зубко В. М., Сидорчук Ю. В. ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ПИТОМИЙ ОПІР ДИСКОВОЇ БОРОНИ ТА БУКСУВАННЯ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА	58
Хворост Т. В., Омельченко Є. М. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА	62
Зубко В. М., Тесленко О. В. ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ПИТОМИЙ ОПІР ДИСКОВОЇ БОРОНИ	65

Хворост Т. В., Суханов О. О. АНАЛІЗ ЯКОСТІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ – ІНДИКАТОР ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА МАРКЕР ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ	68
Плискін В. В., Канівець О. В. ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЗМУ АВТОКОЛИВАЛЬНОЇ ВІБРОУДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КУЛЬТИВАТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОМ	70
Fedyshyn B. M., Sliusar V. S. ANALYSIS OF VIBRATION CLEANING OF WORKING ELEMENTS OF CONSTRUCTION MACHINERY IN A WIDE FREQUENCY RANGE	72
Terentiev O. O., Gorbatyuk I. V., Sliusar V. S. INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY SYSTEMS (SMART GRIDS) FOR OPTIMIZING RENEWABLE ENERGY MANAGEMENT	76
Onyshchenko R. I., Velychko K. S. ON THE CONDITIONS FOR DETERMINING THE VELOCITY OF DISPLACEMENTS AT THE «WORKING ELEMENT-SOIL» CONTACT SURFACE	80
Kovbasa V. P., Huz V. Yu. OPTIMIZATION CRITERIA FOR PARAMETERS AND OPERATING MODES OF TILLAGE WORKING ELEMENTS	83
Секція 2. Агроінженерія та технічне забезпечення агропромислового виробництва	
Kalinichenko A. V., Liashenko S. V. JUSTIFICATION OF ENERGY-SAVING OPERATING MODES OF A TREE BRANCH SHREDDER FOR THE PRODUCTION OF FUEL MATERIAL	86
Ляшенко С. В., Колесніченко А. А. СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТРАКТОРНОГО ПАРКУ КП «ЕФЕКТ» РЕШЕТИЛІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	89
Біленко В. О. ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЗМІШУВАЧІВ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ	91
Брикун О. М., Рябов А. М. ОЦІНЮВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ДРОБУ	93

Горюнов Б. О. SMART FARMING ЯК ОСНОВА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА	94
Діденко С. І., Лапенко Г. О. ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В НАЙБЛИЖЧІ РОКИ	97
Келемеш А. О., Ляшенко С. С. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У СИСТЕМІ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В УМОВАХ КП «ЕФЕКТ» РЕШЕТИЛІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	99
Рожко І. І., Интересний О. А. СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕХАНІЗАЦІЇ ЛУЩЕННЯ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА В УКРАЇНІ	101
Антонець А. В., Арендаренко В. М. КАСКАДНА ГРАВІТАЦІЙНА УСТАНОВКА КОНТРОЛЬОВАНОГО РУХУ ЗЕРНА З ТРЬОМА РЕГУЛЬОВАНИМИ ПЕРЕСИПНИМИ ПОЛИЦЯМ	104
Мовчан Д. А., Холодюк О. В. ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ЗНАРЯДЬ ДЛЯ ПОШАРОВОГО РОЗПОДІЛУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРІВ	107
Ляшенко С. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОЇ ТРІСКИ У ЯКОСТІ ОРГАНІЧНОГО СУБСТРАТУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ГУМУСОВОГО ШАРУ ҐРУНТІВ ПОЛТАВЩИНИ	110
Бабич Я. В. ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ. ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ	112
Купчук І. М. ФОРМУВАННЯ АКТИВНИХ І ПАСИВНИХ ОБЛАСТЕЙ У ПРОЦЕСІ ЗМІШУВАННЯ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ	114
Nishchakov I., Lypnytskyi R. COMPUTER SIMULATION MODELING OF THE PROCESS OF VIBRATIONAL GRINDING OF GRAIN LEGUME RAW MATERIALS IN A VIBRATORY MILL	116
Голованюк А. Б. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОЇ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ	118

Ковальчук А. В. ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ	120
Сафтюк Я. ОБґРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕГРАЦІЇ ДАТЧИКА КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ДОМШОК У ПАЛИВНУ СИСТЕМУ ТРАКТОРІВ	122
Кусков М. А. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТА ЯКОСТІ СІВБИ	124
Гладкин І. В., Тіхонов О. В., Рибалко І. М. ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ ДВЗ	126
Валецька О. В., Ювчик Н. О., Змієвська О. Г. ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ДЛЯ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ	130
Голотюк М. В., Валецька О. В., Полевік О. А. РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ НА ОСНОВІ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ	132
Голотюк М. В., Громов О. С., Марчук А. А. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ШТАНГОВОГО ОБПРИСКУВАЧА	134
Пилипака Т. С., Налобіна О. О., Голотюк М. В. АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПОСІВНИХ МАШИН ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	136
Грудовий Р. С., Заєць М. Л., Ільченко А. В. АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СИЛ, ЩО ДІЮТЬ НА МАШИННО- ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ ТА ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО ВИТРАТУ ПАЛИВА	138
Іванов О. М. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕРНОСУШАРОК ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ	141
Бабич Я. В., Чумак М. В. ІННОВАЦІЙНА СИСТЕМА TERRAGRIP В ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТАХ HORSCH TIGER ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	144
Колотій С. Ю., Лапенко Г. О. ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ	146

Чех О. М., Бурлака О. А. ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ МОЛОТИЛЬНО- СЕПАРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ JOHN DEERE 9640 WTS, 9660 WTS, 9680 WTS	148
Лапенко Т. Г., Діденко О. А. УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ	151
Ляшенко С. В., Вісіч О. В. АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСИКАЦІЇ СОЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА ТА СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	154
Ляшенко С. В., Гончаренко Т. О. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВО-НОЖОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ	156
Ляшенко С. В., Дінець А. А. МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ЗНОШУВАННЯ СТРІЛЧАСТИХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРНОГО АГРЕГАТУ	158
Ляшенко С. В., Іваницький В. О. ТЕХНІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ МІНІ-ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ САМОДОСТАТНОСТІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	159
Ляшенко С. В., Кащенко О. О. МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИН ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРІСКИ	161
Ляшенко С. В., Олексенко М. І. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЧО- ТЕХНІЧНИХ БАЗ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ	163
Ляшенко С. В., Онищенко О. С. ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	165
Ляшенко С. В., Русаков М. Р. ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ОЦІНКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ	167

Ляшенко С. В., Тритяк В. І. ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ	169
Ляшенко С. В., Ярчевський В. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА	171
Ляшенко С. В., Яценко В. Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАСОБУ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ НА ПАЛИВНИЙ МАТЕРІАЛ	173
Павлик Д. Г., Лапенко Г. О. ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ В «ФГ ПАВЛИК» ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	175
Рижкова Т. Ю., Ветохін В. І. НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ	178
Сідак С. В., Канівець О. В. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН	180
Скоряк Ю. Б., Бабенко В. В. ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ПО ШИРИНІ ЗЕРНОСКЛАДУ	182
Альпідовський В. В. ХАРАКТЕР ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	186
Арендаренко В. М., Семенов А. О. СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОПОШКОДЖЕНЬ ЗЕРНА	188
Арендаренко В. М. ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА НА ЕЛЕВАТОРАХ	190
Солодовник А. М., Канівець О. В. АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ КАЧАНІВ НАСІННЕВОЇ КУКУРУДЗИ	192

Гончаренко О. О., Яценко Ю. В., Лавренко В. В. АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ ПОСЛУГ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ПІДПРИЄМСТВ ВСІХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ	194
Бабич Я. В., Чумак М. В. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ДОЗУВАННЯ AIRVAC НА ПОСІВНИХ АГРЕГАТАХ HORSCH	197
Секція 3. Технічний сервіс, надійність і експлуатація машин та обладнання	
Бурда Д. С. ТЕХНОЛОГІЧНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАСОСІВ	200
Нос В. Т. ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ	202
Бодник А. О. ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ СУПЕРФІНІШУВАННЯМ	204
Бородатий Д. Г. ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ	206
Бромот К. С. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЗБІРНИХ РОЗГОРТОК	208
Гарькавенко В. Г. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРОГНОЗУВАННЯМ ТА КОНТРОЛЕМ ХВИЛЯСТОСТІ	210
Лавренко В. В., Гончаренко О. О., Шевченко І. О. ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКІСНОЇ ПОТРЕБИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ	213
Попов С. В. SMART-СЕРВІС ДЕМОНТАЖУ ЗАКИСЛИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ	215
Чумак М. В. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО- ТРАКТОРНОГО ПАРКУ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ	218
Ситник І. М., Іванкова О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЇ ОБРОБКИ	220

Очнєв О. В., Іванкова О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	222
Підгорний Я. В., Іванкова О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	224
Федін В. О., Іванкова О. В. ВІБРАЦІЙНО-МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ	227
Зеленець В. А., Іванкова О. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ВІД РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТА МАТЕРІАЛУ ЕЛЕКТРОДА	229
Бабич Я. В., Чумак М. В. ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА	231
Бабич Я. В., Чумак М. В. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	234
Бабич Я. В. ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ В РОБОТУ ПОСІВНИХ АГРЕГАТИВ HORSCH	236
Кея О. О., Заславець В. О., Левченко Ю. В. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МОЛОТКІВ РОТОРНИХ ДРОБАРОК	238
Секція 4. Автомобільний транспорт: інновації, безпека та екологічність	
Шепеленко І. В., Красота М. В. ОСОБЛИВОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ АВТОСЕРВІСУ	242
Лавренко В. В., Соколовський С. Ю. ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЯ НА БЕЗПЕКУ РУХУ	244
Дубовик Д. А., Ксюковський О. В. АНАЛІЗ ТИПОВИХ ВІДМОВ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ РЕАБІЛІТАЦІЇ	246
Заєць М. Л., Макарчук О. О. МЕХАНІЗМИ РУЙНУВАННЯ ОБГОРТКИ КУКУРУДЗИ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ОЧИЩЕННЯ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ	248

Хмеленко А. М. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ БАГАТОСТУПЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ	252
Hrytsenko Ye., Konoplianchenko Ie. SYNTHESIS OF RATIONAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR HYDROPONIC GRAIN SPROUTING SYSTEMS	255
Черкасець Я. А., Бурлака О. А. ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ СУЧАСНОГО СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	257
Секція 5. Електротехнічні системи, енергозабезпечення та електропривод у машинобудуванні й агроінженерії	
Попов С. В. АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕЛЕКТРОНЕБЕЗПЕЧНИХ НЕДОЛІКІВ ПОБУТОВОГО МЕРЕЖЕВОГО ПОДОВЖУВАЧА	261
Бабич Я. В. ВПЛИВ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТУ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ІНФРАСТРУКТУРУ: ІНТЕГРАЦІЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ЕНЕРГОМЕРЕЖУ УКРАЇНИ	263
Басова Ю. О., Шумейко М. М. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ПІДКЛЮЧЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ У СОНЯЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ	266
Горюнов Б. О. БІОЕНЕРГЕТИКА ЯК НАПРЯМ РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	269
Секція 6. Охорона праці, безпека життєдіяльності та екологічна безпека в інженерній діяльності	
Дрожжана О. У. ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ	271
Яцух О. В. ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ГОТОВНОСТІ ТА РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ	272
Василевич В. О., Дудник В. В. ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ ТА ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС У РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ	276
Жук А. О., Дудник В. В. ТЕХНОГЕННІ АВАРІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ	278

Ніколаєнко А. Р., Дудник В. В. НЕБЕЗПЕКИ В ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	280
Опара Н. М. АНАЛІЗ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВИНИКНЕННЯ РИЗИКІВ В СУЧАСНІЙ ІНЖЕНЕРНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ	282
Секція 7. Підготовка фахівців інженерного профілю: сучасні підходи та освітні інновації	
Япринець Т. С. РОЗВИТОК ЕМОЦІЙНОГО ІНТЕЛЕКТУ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ	286
Горюнов Б. О., Титаренко В. Є. ЦИФРОВІЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ	288
Лапенко Г. О., Конотоп О. В., Лазоренко А. І. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВЗАЄМОВИГІДНОЇ СПІВПРАЦІ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТА ДИЛЕРСЬКИХ ФІРМ	290
Бабич Я. В., Чумак М. В. ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В РОЗРІЗІ ПІДГОТОВКИ АГРОІНЖЕНЕРІВ АПК	292
Бабич Я. В., Чумак М. В. ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АГРОІНЖЕНЕРНОГО ПРОФІЛЮ	295
Ovsiienko Y., Ryzhkova T. INTERDISCIPLINARY INTEGRATION OF FUNDAMENTAL DISCIPLINES IN TRAINING ENGINEERS OF TECHNICAL PROFILE	298

СЕКЦІЯ 1

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДУВАННЯ

Васильєв Є.А.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки,
e-mail: vas.eugene@gmail.com

*Національний університет «Полтавська
політехніка імені Юрія Кондратюка»,
м. Полтава, Україна*

Попов С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

УДОСКОНАЛЕННЯ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЕЧІ ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ ВЛАШТУВАННЯМ РЕКУПЕРАЦІЙНОГО ТЕПЛОБМІННИКА

Попередні етапи досліджень [1] підтвердили високу ефективність вертикальної футерованої печі періодичної дії як надійного альтернативного джерела опалення житлових приміщень. У роботі [2] було представлено конструктивне вдосконалення такої печі за рахунок додавання зовнішньої камери згоряння з варильною поверхнею, що суттєво розширило її функціонал. Проте подальша експлуатація за умов приватного сектору виявила потребу в оптимізації розподілу тепла для паралельного обігріву суміжних приміщень, де встановлення окремих опалювальних агрегатів є недоцільним. Однією з ключових переваг даної конструкції є її паливна універсальність. Окрім традиційної деревини, піч ефективно працює на будь-яких горючих матеріалах, зокрема на відходах меблевого виробництва та старих плитах ДСП. Практика показала, що найбільш раціональним способом підготовки такого палива є його подрібнення на фрагменти за допомогою невеликої кувалди, що значно швидше та менш трудомістко, ніж розпилювання. Також прийнятним є використання деревної тирси [3-6], попередньо упакованої в паперові пакети. Завдяки футеруванню нижньої частини вогнетривкою цеглою у зоні горіння створюється ефект «теплового замка», де температура швидко зростає та стабілізується. Це забезпечує автоматичне займання нових порцій палива незалежно від його якості та дозволяє підтримувати комфортний рівень тепла в приміщенні навіть при зовнішній температурі -19°C за умови лише дворазового протоплювання на добу.

Для забезпечення обігріву декількох кімнат запропоновано влаштування рекупераційного теплообмінника, що монтується у верхній частині печі

(рисунок 1). Конструкція являє собою металевий ковпак (обичайку), розміри якого безпосередньо впливають на ефективність відбору тепла. Експериментально встановлено, що для паралельного опалення передпокою житлового будинку достатньо обичайки загальною висотою 600 мм. Конструктивно вона складається з двох частин: верхнього вузького монтажного кільця висотою 150 мм та нижнього робочого кільця висотою 450 мм. Кріплення верхньої частини теплообмінника здійснюється болтами М6 (рисунок 2).



Рисунок 1 – Верхня частини печі з рекупераційним ковпаком та системою відводу підігрітого повітря



Рисунок 2 – Деталізація конструкції кришки теплообмінника та вузлів болтового кріплення

Принцип роботи пристрою ґрунтується на конвекційному підігріві повітря, що проходить у зазорі між корпусом печі та обичайкою, після чого нагрітий потік спрямовується через повітровід у суміжне приміщення (рисунок 1). При використанні лише природної конвекції швидкість потоку повітря може бути недостатньою, тому для інтенсифікації теплообміну доцільно застосовувати осьовий вентилятор чи збільшувати висоту кожуха обичайки для створення більшої тяги. Важливою перевагою такого рішення є простота виготовлення. Піч потребує лише двох покупних елементів (дверцят та колосників), тоді як усі інші деталі, включаючи рекупераційний вузол, можуть бути виготовлені з підручних матеріалів. Отже, запропонована модернізація дозволяє трансформувати локальну дров'яну піч у повноцінну систему повітряного опалення декількох приміщень, забезпечуючи високу автономність та енергоефективність приватного будинку.

Список використаних джерел

1. Попов С.В., Васильєв Є.А., Малюшицький О.В., Васильєв А.В. Розробка дров'яної печі періодичного функціонування, як альтернативного джерела опалення приватного будинку. *ScienceRise*. 2018. №1(42). С. 40–43. doi: 10.15587/2313-8416.2018.120795.

2. Попов С.В., Васильєв Є.А., Діденко А.В. Удосконалення конструкції дров'яної печі періодичного функціонування. *Сучасна наука: інновації та*

перспективи: матер. Міжнар. мультидисц. наук.-практ. Інтернет-конф., м. Київ, КІЗТ ДУІТ, 6-7 квітня 2023 р. Київ, 2023. С.196–200.

3. Ляшенко С.В., Пошивайло Ю.О. Вдосконалення машин для приготування паливного матеріалу необхідної фракції для побутового використання. *Вісник Полтавської державної аграрної академії*. 2017. № 4. С. 106–109.

4. Думич В. Аналіз технологій виробництва різних видів твердого біопалива. *Техніка і технології АПК*. 2013. №11 (50). С. 24–27.

5. Яценко Ю.В., Ляшенко С.В. Енергетичний потенціал деревної біомаси та актуальність дослідження ефективного подрібнення деревини на паливний матеріал для умов ПП «Агроекологія» Миргородського району Полтавської області. *Новітні технології в АПК: проблеми та перспективи впровадження: матеріали V Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конф., Полтава, ПДАУ, 24 червня 2025 р. Полтава, 2025. С. 77–83.*

6. Як опалити будинок без газу: поради експертів. URL: <https://surl.lu/xmewki> (дата звернення: 25.03.2026).



Басова Ю.О.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: yuliia.basova@pdau.edu.ua

Левченко Ю. В.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: yuliia.levchenko@pdau.edu.ua

Капиро Я.А.

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: yaroslav.kapyro@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ КЛАСІВ МПК ТА МЕТОДИКА ПАТЕНТНОГО ПОШУКУ В ДОСЛІДЖЕННЯХ СИТ ПНЕВМОСЕПАРАТОРІВ ЗЕРНА

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу важливого значення набуває підвищення ефективності процесів очищення та сепарації зерна. Одним із ключових елементів зерноочисного обладнання є сита пневмосепараторів, від конструкції та матеріалів яких значною мірою залежать продуктивність, енергоефективність і надійність роботи установок. У зв'язку з цим актуальним є проведення системного патентного пошуку, що базується на використанні Міжнародної патентної класифікації (МПК), яка забезпечує структурований доступ до сучасних технічних рішень [1, 2, 3].

Аналіз класифікації класів МПК свідчить, що для дослідження матеріалів сит пневмосепараторів доцільно використовувати низку класів, які охоплюють як металеві, так і полімерні матеріали, а також технології їх обробки. Зокрема, клас С22С включає сплави чорних і кольорових металів, що застосовуються для забезпечення високої міцності та зносостійкості сит. Клас С21D охоплює процеси термічної та хіміко-термічної обробки сталі, що сприяють покращенню експлуатаційних характеристик матеріалів. Значну роль відіграють також класи С08L і С08К, які відображають використання полімерних і композиційних матеріалів, що характеризуються корозійною стійкістю та зменшеною масою. Технології формування пластмас представлені класом В29С, тоді як клас С23С включає методи нанесення захисних покриттів, що підвищують довговічність робочих поверхонь сит.

Конструкційно-технологічні аспекти пневмосепараторів описуються класами В07В та В03В, які є базовими для даної предметної області. Клас В07В охоплює процеси просіювання, сортування та розділення сипких матеріалів сухим способом, включаючи різні типи сит, тоді як клас В03В пов'язаний із процесами пневматичної та гравітаційної сепарації. Розширення меж пошуку забезпечується за рахунок використання суміжних класів, зокрема В01D, В04В і В04С, що охоплюють загальні процеси розділення, центрифугування та циклонної очистки. Важливе значення мають також класи, що характеризують механічні системи обладнання, зокрема F16F, який включає вібраційні системи

та амортизатори, необхідні для забезпечення ефективної роботи сит. Допоміжні технологічні процеси представлені класом F26B, що охоплює сушіння матеріалів і безпосередньо впливає на ефективність подальшої сепарації зерна.

Для забезпечення повноти та достовірності результатів дослідження патентний пошук доцільно здійснювати за поетапним алгоритмом. На першому етапі визначаються мета та об'єкт пошуку, якими у даному випадку є сита пневмосепараторів зерна, а також матеріали їх виготовлення та конструкційні особливості. Далі формується перелік ключових слів і термінів, що відображають сутність досліджуваної проблематики. Наступним етапом є визначення релевантних класів МПК, серед яких основними виступають B07B і B03B, а уточнюючими - класи, пов'язані з матеріалами та технологіями їх обробки. На четвертому етапі здійснюється безпосередній пошук у спеціалізованих патентних базах даних із використанням комбінації ключових слів та кодів МПК [4]. Отримані результати підлягають відбору за критеріями відповідності темі дослідження, новизни технічного рішення та наявності інформації про матеріали і конструкцію сит. Подальший аналіз відібраних патентів передбачає вивчення конструктивних особливостей, матеріалів виготовлення та принципів роботи відповідних пристроїв. Завершальним етапом є узагальнення отриманих результатів, визначення основних тенденцій розвитку та формування висновків щодо перспектив удосконалення сит пневмосепараторів.

Таким чином, використання систематизованої класифікації класів МПК у поєднанні з структурованим алгоритмом патентного пошуку дозволяє здійснити аналіз сучасного рівня техніки у сфері сепарації зерна. Отримані результати можуть бути використані для розробки ефективних конструкцій сит із покращеними експлуатаційними характеристиками.

Список використаних джерел

1. Басова Ю. О., Кожушко Г. М., Шурдук І. В. Патентознавство та ліцензування : навчальний посібник. Полтава : ПУЕТ, 2019. 165 с.
2. Басова Ю. О., Левченко Ю. В., Проценко О. Ю., Качур С. В. Аналіз патентної інформації щодо інноваційних рішень щодо вдосконалення стрічкових транспортерів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Розд. «Технічні науки». 2025. № 49. С. 203–210. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-4.31.
3. Бондаренко Н. В., Кудін В. В. Патентно-інформаційний пошук як основа для прийняття управлінських рішень в інноваційній діяльності. *Економіка та суспільство*. 2017. № 9. С. 219–224.
4. Спеціальна інформаційна система (СІС) УКРНОІВІ. URL: <https://sis.nipo.gov.ua>
5. Міжнародна патентна класифікація (МПК-2025.01). Національний інститут інтелектуальної власності України. URL: <https://base.nipo.gov.ua/mpk2009/index.html?level=c&version=2>



Басова Ю.О.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: yuliia.basova@pdau.edu.ua

Прілепо Н.В.,

старший викладач кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: nataliia.priilepo@pdau.edu.ua

Колесніченко А. А.

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: anton.kolesnichenko@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПАТЕНТНИЙ ЛАНДШАФТ ЯК ІНСТРУМЕНТ СТРАТЕГІЧНОГО АНАЛІЗУ ІННОВАЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ У МАШИНОБУДУВАННІ ТА СЕРВІСНІЙ ІНЖЕНЕРІЇ

У сучасних умовах інтенсивного розвитку науки і технологій особливого значення набуває ефективне управління інтелектуальною власністю. Одним із ключових інструментів аналітичної підтримки інноваційної діяльності є патентний ландшафт. Патентний ландшафт (англ. Patent Landscape) - це комплексне аналітичне патентної інформації дослідження, яке візуалізує та описує всю сукупність патентної інформації у певній технологічній сфері, юрисдикції або стосовно конкретного конкурента [2, 3, 7].

Патентний ландшафт доцільно розглядати як комплексний аналітичний інструмент, що відображає структуру та динаміку розвитку інтелектуальної власності у сфері машинобудування та сервісної інженерії [1, 6]. Він являє собою систематизоване представлення сукупності патентів і патентних заявок, ключових суб'єктів ринку (виробничих підприємств, інжинірингових компаній, науково-дослідних установ), технологічних напрямів розвитку, а також потенційних можливостей для інноваційної діяльності.

Основною метою формування патентного ландшафту є узагальнення значних обсягів патентної інформації з подальшою її структуризацією, візуалізацією та аналітичною інтерпретацією для підтримки прийняття управлінських рішень [1, 7]. У галузі машинобудування це дозволяє оцінювати рівень технологічного розвитку обладнання, визначати напрями модернізації виробничих систем, а також виявляти перспективні інженерні рішення [1, 6]. У сфері сервісної інженерії патентні ландшафти сприяють оптимізації процесів технічного обслуговування, діагностики та управління життєвим циклом обладнання.

У концептуальному розумінні патентний ландшафт можна інтерпретувати як «карту» інтелектуальної власності в зазначених галузях, на якій відображаються патентні документи, ключові гравці, технологічні тренди та

так звані «білі плями» – вільні або недостатньо освоєні напрями, що відкривають можливості для розроблення нових машинобудівних рішень, сервісних технологій та інноваційних інженерних підходів. Застосування патентних ландшафтів охоплює широкий спектр завдань (рис. 1).



Рисунок 1 – Основні напрями застосування патентних ландшафтів

Зокрема, вони використовуються для оцінки можливості виходу на нові ринки (Freedom to Operate), що дозволяє мінімізувати ризики порушення прав інтелектуальної власності. Важливим напрямом є також виявлення технологічних трендів, що дає змогу визначити перспективні напрями розвитку та уникнути інвестування у застарілі технології. Крім того, патентні ландшафти слугують інструментом конкурентної розвідки, дозволяючи ідентифікувати лідерів галузі, оцінити їхні стратегії та визначити потенційних партнерів. Не менш значущим є їх використання для управління ризиками, зокрема шляхом виявлення так званих «патентних гущ», де спостерігається висока концентрація охоронних документів. У сфері інвестицій та злиттів і поглинань (M&A) патентні ландшафти сприяють об'єктивній оцінці вартості компаній через аналіз їхнього інтелектуального портфеля [4].

Структурно патентний ландшафт включає декілька взаємопов'язаних компонентів (рис. 2).



Рисунок 2 – Структура патентного ландшафту

До них належать аналіз динаміки патентування, що відображає зміну інноваційної активності у часі; географічне покриття, яке демонструє

регіональні пріоритети захисту технологій; визначення ключових гравців - компаній, наукових установ та окремих винахідників; кластеризація технологій, що дозволяє виділити основні напрями досліджень; аналіз юридичного статусу патентів, що дає змогу виявити як чинні, так і вільні для використання технічні рішення [5].

Результати патентного ландшафту зазвичай подаються у вигляді аналітичних звітів та різноманітних візуалізацій. Сучасні програмні рішення дозволяють створювати інтерактивні дашборди, що значно підвищує ефективність сприйняття та використання отриманих даних.

Таким чином, патентний ландшафт виступає ефективним інструментом зниження невизначеності в інноваційній діяльності підприємств машинобудівної галузі та сфери сервісної інженерії [6]. Його застосування забезпечує перехід від інтуїтивного до науково обґрунтованого прийняття управлінських і технічних рішень, зокрема при проектуванні, модернізації та обслуговуванні технічних систем.

Використання патентних ландшафтів сприяє підвищенню конкурентоспроможності машинобудівних підприємств шляхом виявлення актуальних технологічних трендів, оптимізації інженерних рішень та уникнення дублювання розробок. У сфері сервісної інженерії це дозволяє підвищити ефективність управління життєвим циклом обладнання, удосконалити процеси технічного обслуговування та ремонту, а також забезпечити раціональне використання науково-технічного потенціалу.

Список використаних джерел

6. Katznelson R. *Patent Analytics*. Hoboken : Wiley, 2018. 312 p.
7. World Intellectual Property Organization. *Patent Landscape Reports*. Geneva : WIPO, 2015. 36 p.
8. Abbas A., Zhang L., Khan S. U. A literature review on the state-of-the-art in patent analysis. *Technological Forecasting and Social Change*. 2014. Vol. 85. P. 1–13.
9. Ernst H. Patent information for strategic technology management. *Research Policy*. 2003. Vol. 32, No. 2. P. 233–242.
10. Yoon B., Park Y. A text-mining-based patent network: Analytical tool for high-technology trend. *World Patent Information*. 2004. Vol. 26, No. 1. P. 37–50.
11. Басова Ю. О., Левченко Ю. В., Проценко О. Ю., Качур С. В. Аналіз патентної інформації щодо інноваційних рішень щодо вдосконалення стрічкових транспортерів. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*. Розд. «Технічні науки». 2025. № 49. С. 203–210. DOI: 10.37406/2706-9052-2025-4.31.
12. Басова Ю. О., Колесніченко А. А. Сучасний стан відкритих патентно-інформаційних ресурсів та їх значення у науковій і інноваційній діяльності. Інноваційні аспекти систем безпеки праці, цивільного захисту та захисту інтелектуальної власності : матеріали XI Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 16–17 квітня. 2026 р.). Полтава : ПДАУ, 2026. С. 161–164.



Барабаш Р.П.,
здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: rodion.barabash@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИГЛАДЖУВАННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНЕВОГО ШАРУ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Сучасне сільськогосподарське машинобудування характеризується високими вимогами до надійності, довговічності, а також ефективності роботи машин за умов інтенсивної експлуатації [1, 2]. Значна частина відмов техніки пов'язана зі зношуванням робочих поверхонь деталей [3]. Останні зазнають тертя, змінних навантажень, впливу агресивного середовища. Тому підвищення якості поверхневого шару деталей є одним із ключових напрямів підвищення їх експлуатаційних характеристик. Одним із ефективних методів зміцнення поверхневого шару є вигладжування [4-10]. Воно відноситься до процесів поверхневого пластичного деформування. У результаті такого впливу відбувається згладжування мікронерівностей, підвищення мікротвердості, а також формування залишкових напружень стиску. Це сприяє підвищенню зносостійкості, втомної міцності деталей. Подальшим розвитком цього методу є ультразвукове вигладжування. При ньому на індентор накладаються високочастотні коливання. В результаті цього істотно змінюються умови контактної взаємодії між інструментом і поверхнею деталі.

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю підвищення ресурсу деталей сільськогосподарських машин. Цього можливо досягти за рахунок застосування сучасних методів фінішної обробки. Особливу увагу приділено використанню металовмісних мастил, що здатні не лише знижувати тертя, а й впливати на формування поверхневого шару.

Метою роботи є дослідження впливу ультразвукового вигладжування із використанням металовмісних мастил на параметри якості поверхневого шару деталей, а також визначення раціональних режимів обробки для підвищення їх експлуатаційних характеристик.

У ході досліджень було проведено аналіз існуючих методів вигладжування. Традиційне алмазне вигладжування має обмеження при обробці деяких сплавів. Присутня схильність до адгезійного схоплювання з інструментом. Застосування ультразвукових коливань дозволяє знизити сили тертя, зменшити контактні напруження, а також підвищити пластичність матеріалу. Це створює сприятливі умови саме для формування якісного поверхневого шару.

Експериментальні дослідження проводилися на зразках із сплавів марки ВТ22 та ВТ23. Обробка здійснювалася на токарному верстаті із застосуванням ультразвукової установки. Вона містила генератор коливань, хвилевід, вигладжувальний інструмент. Варіювалися основні технологічні параметри

процесу, а саме, швидкість обробки, подача, сила вигладжування, частота коливань, змащення. Використовувалися як традиційні індустриальні мастила, так і композиції з додаванням металевих порошків (алюмінію та міді).

Результати досліджень показали, що швидкість обробки суттєво впливає на формування мікрорельєфу поверхні. При невеликих швидкостях (4-10 м/хв.) формується рівномірна структура без ознак руйнування. З підвищенням швидкості спостерігається поява мікрОВИРИВІВ. Простежується погіршення якості поверхні. Це пояснюється зростанням зсувних деформацій, а також локальних напружень у зоні контакту індентору з матеріалом.

Встановлено, що ультразвукове вигладжування забезпечує значне підвищення мікротвердості поверхневого шару. Зокрема, приріст мікротвердості становить до 20-35% порівняно з початковим станом матеріалу, а глибина зміцненого шару сягає 0,6 мм. При цьому максимальні значення твердості спостерігаються у приповерхневій зоні. Це зумовлено інтенсивною пластичною деформацією та подрібненням структури матеріалу.

Особливий інтерес становить вплив металовмісних мастил на формування поверхневого шару. Використання мастил із додаванням порошків алюмінію, міді сприяє зміні фактури поверхні. Може призводити до часткового впровадження металевих частинок у поверхневий шар. Це створює ефект, який називається мікролегуванням. В результаті покращуються трибологічні характеристики поверхні. При цьому спостерігається рівномірніший розподіл мікронерівностей, зменшення їх висоти порівняно з обробкою без додаткових компонентів. Застосування поздовжньо-крутильних ультразвукових коливань підвищує ефективність процесу внаслідок зменшення адгезійної складової тертя. Покращуються умови деформування поверхневого шару. Це забезпечує формування більш регулярного мікрорельєфу, а також зниження шорсткості.

Таким чином, результати досліджень підтверджують високу ефективність ультразвукового вигладжування як методу фінішної обробки деталей сільськогосподарських машин. Застосування металовмісних мастил дозволяє додатково впливати на структуру, властивості поверхневого шару. Це відкриває нові можливості підвищення зносостійкості, довговічності деталей. Практичне значення результатів полягає у можливості впровадження розроблених рекомендацій у техпроцеси виготовлення, ремонту деталей машин агропромислового комплексу. Це призведе до зменшення витрат на обслуговування техніки, підвищення її надійності та ефективності експлуатації.

Ультразвукове вигладжування з використанням металовмісних мастил є перспективним напрямом розвитку технологій поверхневого зміцнення деталей. Воно може бути рекомендоване для широкого застосування у сільськогосподарському машинобудуванні.

Список використаних джерел

1. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020. 258 с.

2. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.
3. Popov S., Gnitko S., Vasyliiev A. Improving the abrasive resistance of a slide frame in a mortar mixer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. №1/1(103). P. 6-14.
4. Рязанова-Хитровська Н. В. Алмазне вигладжування як метод пластичної деформації поверхневого шару. Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «MICROCAD-2020», Харків, 20–22 травня 2020 р. Харків : Планета-Прінт, 2020. С. 115–117.
5. Рязанова-Хитровська Н. В. Основи прогнозуючого моделювання процесу алмазного вигладжування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2019. № 5 (1330). С. 45–51.
6. Ковалевський С. В., Маслова А. І. Дослідження впливу комбінованого вигладжування на зміцнення поверхонь деталей машин. *Наукові праці Житомирського технічного університету*. Серія: Машинобудування та транспорт. 2021. № 2 (98). С. 57–63.
7. Федорович В. О., Стадник В. М., Козак А. О. Моделювання процесу ультразвукового алмазного вигладжування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2018. № 15 (1291). С. 102–108.
8. Tesfom F., Pásztor I., Felhő Cs. Flat diamond sliding burnishing surface roughness investigation. *Multidisciplinary Sciences (Multidiszciplináris Tudományok)*. 2022. Vol. 12, No. 3. P. 186–195.
9. Ichkova M. Effects of diamond burnishing process parameters on the surface roughness of AISI 304 austenitic stainless steel. *Edelweiss Applied Science and Technology*. 2025. Vol. 9, No. 4. P. 1075–1087.
10. Huuki J., Laakso S. Surface improvement of shafts by the diamond burnishing and ultrasonic burnishing techniques. *International Journal of Machining and Machinability of Materials*. 2017. Vol. 19, No. 3. P. 246–259.



Сем`янчук А. І.,

аспірант кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: andrii.semianchuk-a13324@nung.edu.ua

Криштопа С. І.,

д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: sviatoslav.kryshropa@nung.edu.ua

Криштопа Л. І.,

к.т.н., доц., проф. кафедри фізико-математичних наук
e-mail: l.i.kryshropa@gmail.com,

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна*

ПОКРАЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ ПОВЕРХОНЬ ТЕРТЯ МОБІЛЬНИХ НАСОСНИХ АГРЕГАТИВ ОПТИМІЗАЦІЄЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ

Незважаючи на значні вдосконалення сучасних насосних агрегатів технологічного транспорту, їхній ресурс в даний час залишається недостатньо високим. Наприклад, ресурс насосів високого тиску в експлуатаційних умовах у ряді випадків не досягає 2000 мотогодин, проти нормативного - 2500-5000 мотогодин [1]; згідно з дослідженнями ресурс насосів високого тиску (НВТ) становить 55...60 % від встановленого. Під час експлуатації НВТ мобільного агрегату ресурс насосу, переважно, характеризується технічним станом його плунжерних пар. В результаті зношування плунжерних пар збільшуються зазори і, отже, падає тиск насосу та знижується об'ємний ККД, що призводить до зниження продуктивності насосу та його відмови на кінцевому етапі [2].

Тому на кафедрі автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу були проведені дослідження з встановлення у лабораторних та промислових умовах зв'язку температури робочої оливи гідросистеми на інтенсивність зношування поверхонь НВТ мобільних насосних агрегатів. У лабораторних умовах випробування проводились на машині тертя моделі УМТ 2168. Як зразки, що використовувалися при проведенні лабораторних випробувань на машині тертя моделі УМТ 2168 (рис. 1), було обрано циліндричні ролики, виготовлені зі сталі 25Х5М, та колодки – зі сталі 20Х, так як з вищевказаних матеріалів виготовлені плунжерні пари НВТ GD-2500 мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів FC-2251 на шасі Kenworth T800. Твердість поверхні плунжерів зі сталі 25Х5М складає HRC 58-59, а твердість поверхні втулок зі сталі 20Х – HRC 61-62.

Ролики та колодки для проведення експериментів шліфувалися, шорсткість поверхні після обробки складала $Ra = 1,25$ мкм. Діаметр ролика, на якому проводилися виміри зношування, становив 50 мм. Ширина контактної поверхні, що дозволяла досягти навантажень у контакті, відповідних навантаженням у реальному поєднанні плунжерних пар насосу високого тиску 4P-700 (питоме навантаження – $1,45 \cdot 10^6$ Н/м²), дорівнювала робочій частині колодки і становила

$0,43 \cdot 10^3 \text{ мм}^2$. Ширина ролика складала 12 мм. Це дозволило наблизити умови випробування зразків до умови роботи реальних плунжерних пар насосу високого тиску мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів FC-2251 на шасі Kenworth T800. Результати досліджень зношування пар тертя в залежності від температури оливи насосу високого тиску зображені на рис. 2.

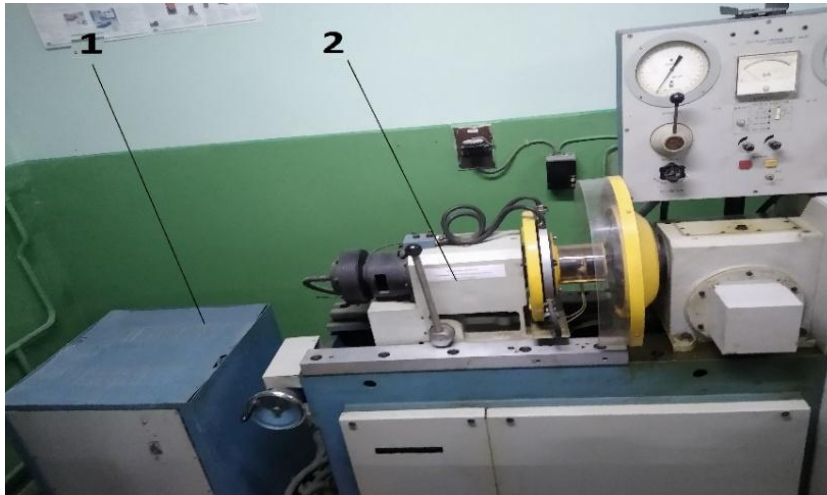


Рисунок 1 – Виконання експериментальних досліджень на машині тертя УМТ 2168:
1 – силовий пульт машині тертя; 2 – випробовувальна установка

Зниження величини зношування пар тертя при збільшенні температури оливи до $45 \dots 65 \text{ }^\circ\text{C}$ пояснюється кращим надходженням малов'язкої оливи в зону тертя, кращим видаленням продуктів зносу від поверхонь тертя та інтенсивнішим тепловідведенням. При підвищенні температури вище $65 \text{ }^\circ\text{C}$ зношування зразків тертя починає зростати, що пов'язано з порушенням гідродинамічного режиму оливи, значним зниженням товщини і міцності, а також наступним руйнуванням оливного шару, що розділяє поверхні тертя.

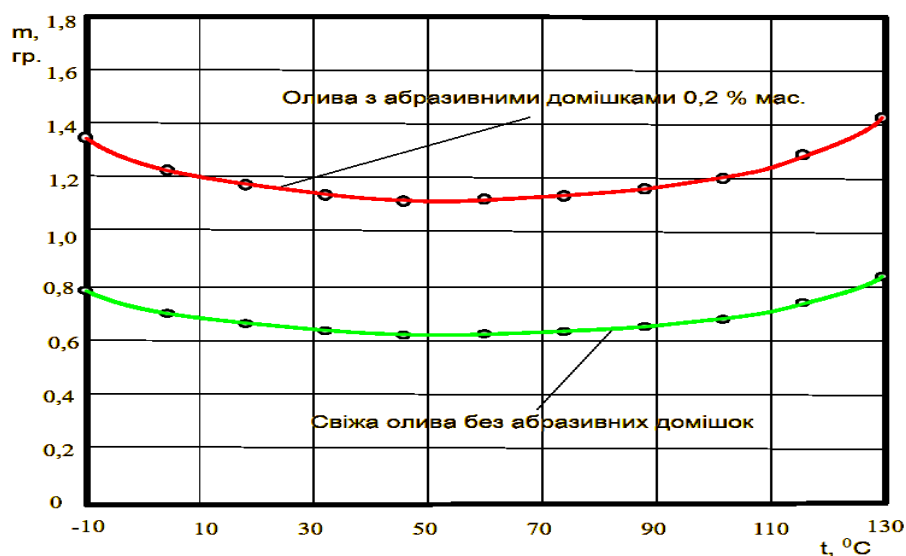


Рисунок 2 – Експериментальні залежності зношування пар тертя в залежності від температури оливи НВТ

Для визначення впливу терміну використання оливи на зношення пар тертя були проведені відповідні експерименти. Були відібрані проби зі зливої при ТО оливи з НВТ та з'ясовано, що вміст абразивних домішок коливався в межах 0,16...0,23 % мас. Тому для дослідження зношування пар тертя від температури при використанні старої оливи в змащувальне середовище також додавався абразивні домішки в кількості 0,2 % мас. Результати експериментів показали, що при суттєвому зростанні зношування пар тертя оптимальний температурний режим залишився той самий: 45...65 °С.

З одержаних результатів зношування пар тертя можна зробити висновок, що для забезпечення максимального ресурсу НВТ його не можна прогрівати під навантаженням, а необхідно спочатку насос в статичному стані прогріти до 45...50 °С і вже після того його запускати. Висока робоча температура насосу є гіршим чинником, ніж низька, оскільки призводить до підвищеного спрацювання або руйнування пар тертя. Тому, при зростанні робочої температури насосу до 65 °С, необхідно обов'язково вживати заходів для її автоматичного зниження.

Список використаних джерел

1. Saheban Alahadi, M. J., Shirneshan, A., & Kolahdoozan, M. (2017). Experimental investigation of the effect of grooves cut over the piston surface on the volumetric efficiency of a radial hydraulic piston pump. *International Journal of Fluid Power*, 18(3), 181-187.
2. Tang, H. S., Li, J., & Yin, Y. (2017). Power loss characteristics of slipper/swash plate pair in axial piston pump. *J. Cent. South Univ.(Sci. Technol.)*, 48, 361-370.



Мисів О. О.,

аспірант кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: oleh.mysiv-a133-23@nung.edu.ua

Копильців Д. В.,

аспірант кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: dmytro.kopyltsiv-a13324@nung.edu.ua

Криштопа С. І.,

д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: sviatoslav.kryshstopa@nung.edu.ua

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна*

ПОКРАЩЕННЯ ЕНЕРГОЗАОЩАДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРАНСМІСІЙНИХ АГРЕГАТІВ

Важливою характеристикою якості агрегатів технологічного транспорту є висока енергоефективність, що відображає робочі властивості даних об'єктів, які закладаються в процесі проектування та виробництва машин, реалізуються при експлуатації та відновлюються за допомогою ремонту. Головними причинами зниження енергоефективності коробок перемикання передач технологічного транспорту є втрати на тертя та втрати тиску [1]. Ці енергетичні втрати зростають як при збільшенні, так і при зменшенні в'язкості оливи і можуть призвести не тільки до зниження корисних зусиль в КПП, але і до повної втрати роботоздатності агрегатів, коли тиску оливи в агрегатах недостатньо [2].

Метою досліджень є встановлення у лабораторних умовах зв'язку температури робочої оливи агрегатів трансмісії на енерговитрати тертя КПП мобільних установок технологічного транспорту. Експериментальні дослідження втрат потужностей в коробках перемикання передач полягало у визначення сумарних механічних і гідравлічних втрат на додання опору обертання шестерень КПП у залежності від температури трансмісійної рідини. При прокручуванні автоматичної (або механічної) КПП електродвигуном визначались напруга та струм, які споживались електродвигуном. На рис. 1 показано проведення досліджень в промислових умовах.

В експериментальних дослідженнях використовувалась МКПП насосного агрегату УН1-630×700 на шасі КрАЗ-260 та АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800. Для визначення втрат потужності в коробках перемикання передач їхні КПП демонтовувались і поєднувались з електродвигуном постійного струму. Для прикладу на рис. 2 показана демонтована та заблокована з електродвигуном АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800.



Рисунок 1 – Проведення промислових випробувань на базі мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів мод. FC-2251

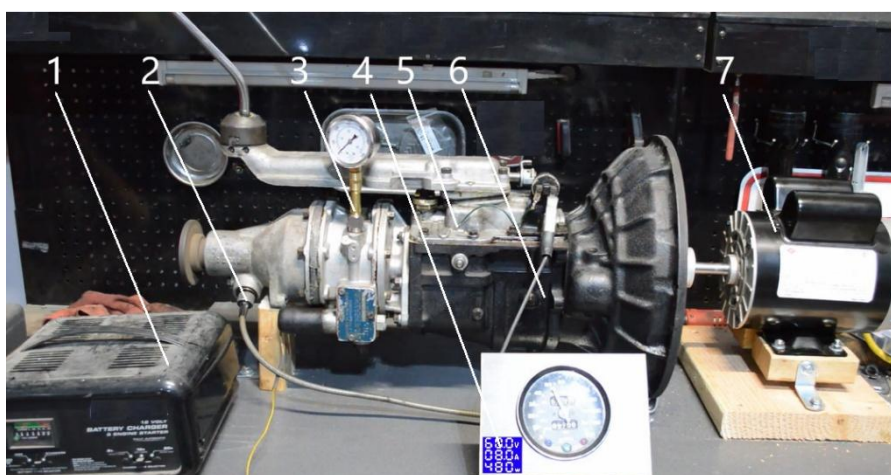


Рисунок 2 – Визначення втрат потужності в АКПП:

1 – блок живлення; 2 – давач частоти обертання вихідного вала КПП; 3 – контрольний манометр; 4 – контрольно-вимірювальний блок з ватметром та тахометром; 5 – термопара; 6 – КПП агрегату; 7 – електродвигун

Вимірювання втрат потужності в коробках перемикання передач проводилось за різних температур КПП з обов'язковим встановленням потужностей механічних втрат, які втрачаються в самому електричному двигуні. Температури КПП визначались за показами термопари, зануреною в трансмісійну рідину в середині коробок перемикання передач.

В результаті експериментальних досліджень було визначено залежності втрат потужностей в коробках перемикання передач у залежності від температур трансмісійних рідин (рис. 3). Наприклад, потужність, яка витрачалась для прокручування валів коробок перемикання передач, за температури трансмісійної рідини мінус 10 °С для АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800 склала 14,95 кВт, для МКПП насосного агрегату УН1-630×700 на шасі КрАЗ-260 - 9,92 кВт.

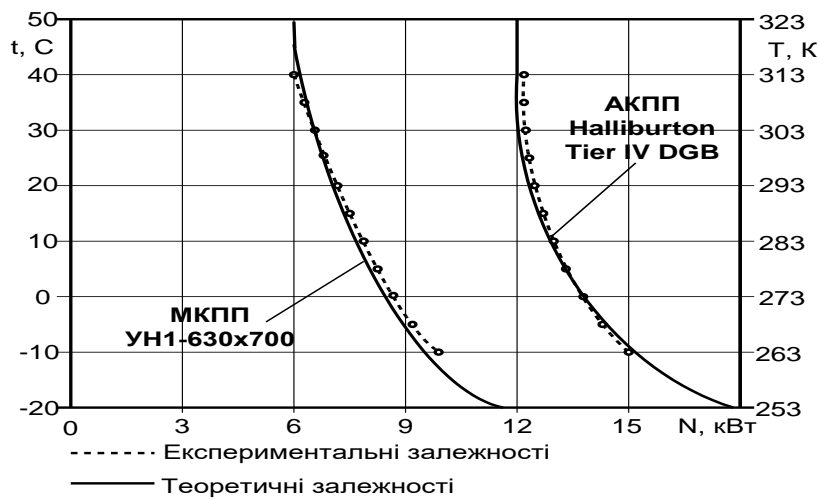


Рисунок 3 – Залежності втрат потужностей в коробках перемикачів передач у залежності від температур трансмісійних рідин (олив)

Результати експериментів показали, що мінімальні значення втрат потужності для АКПП насосного агрегату FC-2251 на шасі Kenworth T800 досягались за температури трансмісійної рідини плюс 41 °C на рівні 12,2 кВт і при подальшому зростанні температури практично не змінювались. Мінімальні значення втрат потужності для МКПП насосного агрегату УН1-630×700 досягались за температури трансмісійної рідини плюс 49 °C на рівні 5,9 кВт і при подальшому зростанні температури практично не змінювались.

Список використаних джерел

1. Wang, Z., Hu, S., Ji, H., Wang, Z., & Liu, X. (2018). Analysis of lubricating characteristics of valve plate pair of a piston pump. *Tribology International*, 126, 49-64.
2. Rundo, M. (2017). Models for flow rate simulation in gear pumps: A review. *Energies*, 10(9), 1261.



Матвієнко Р. М.,

аспірант кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: roman.matviienko-a13324@nung.edu.ua

Добуш А. І.,

аспірант кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: andrii.dobush-a13324@nung.edu.ua

Криштопа С. І.,

д.т.н., проф., завідувач кафедри автомобільного транспорту,
e-mail: sviatoslav.kryshtopa@nung.edu.ua

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
м. Івано-Франківськ, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ККД НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ТРАНСПОРТУ ЗА РАХУНОК ОПТИМІЗАЦІЇ РЕЖИМІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

Температурний режим роботи насосів високого тиску насосних установок технологічного транспорту (УТТ) визначається в'язкістю - однією з найважливіших характеристик робочої рідини, що зумовлює внутрішнє тертя рідини. Зі збільшенням температури в'язкість оливи зменшується, зростають витоки через ущільнення та сполучення агрегатів. Час підйому навісного механізму збільшується, швидкодія гідросистем знижується [1]. Значне підвищення температури може призвести до руйнування оливної плівки між поверхнями тертя, що призводить до істотного зростання енерговитрат і, навіть, до виходу з ладу насосу. Руйнування оливної плівки призводить до напівсухого тертя, що ще більше сприяє перегріву поверхонь, що труться. При зниженні температури в'язкість збільшується, проте збільшуються і опори потоку оливо в трубопроводах, погіршується заповнення всмоктувальної порожнини насоса. Має місце інтенсивне піноутворення, продуктивність насоса знижується, енерговитрати – збільшуються [2].

Отже, на роботу насосів високого тиску насосних УТТ впливає безліч несприятливих факторів, що призводять до зростання енерговитрат, тому визначення енергетичних витрат та об'ємного ККД насосів високого тиску мобільних УТТ є ефективним інструментом енергозаощадження. Тому на кафедрі автомобільного транспорту Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу були проведені дослідження з встановлення у промислових умовах впливу температури робочої оливи гідросистеми насосів високого тиску насосних УТТ на об'ємний ККД насосів високого тиску.

Промислові дослідження проводились на експериментальній установці, що була створена на базі мобільного агрегату для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес 4150 (рис. 1) транспортного цеху

Управління транспорту ПАТ «Укрнафта» в м. Надвірна. Агрегат Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес або Кенворт широко використовується в НГВУ «Надвірна нафтогаз», «Долина нафтогаз» та інших НГВУ для гідророзриву пластів.

Експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB та насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів УН1-630×700 в залежності від температури робочої оливи насосів та порівняння їх із розрахунковими значеннями наведено на рис. 2.



Рисунок 1 – Проведення випробовувань на базі мобільного агрегату для гідророзриву пластів мод. Halliburton Tier IV DGB на шасі Мерседес 4150 (8×8)

Аналіз отриманих результатів теоретичних досліджень шляхом порівняння з даними експериментальних досліджень показав наступне. Згідно даних заводів-виготовників об'ємний ККД нового справного насоса високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB складає 0,96; об'ємний ККД нового справного насоса високого тиску за даними математичної моделі складає 0,94. Згідно одержаних експериментальних досліджень максимальний об'ємний ККД справного насоса високого тиску НТ-400 насосних агрегатів для гідравлічного розриву пластів Halliburton Tier IV DGB досягався за температури 53 °С і дорівнює 0,89; максимальний об'ємний ККД справного насоса високого тиску за даними математичної моделі досягався за температури 55 °С і дорівнює 0,87.

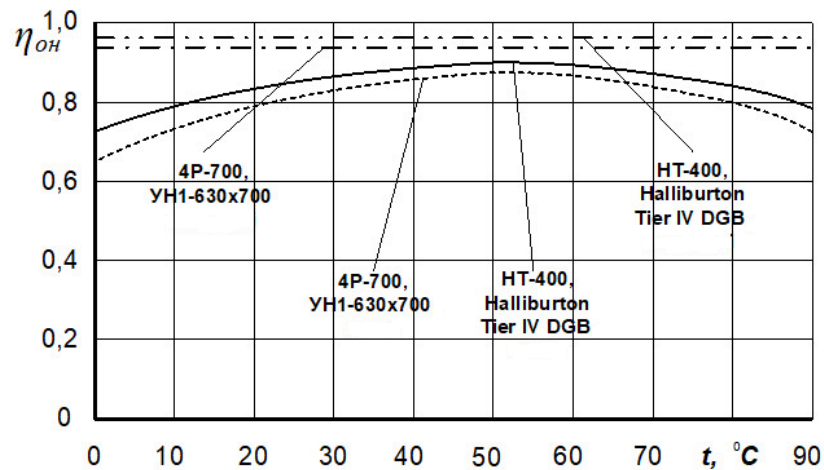


Рисунок 2 – Експериментальні значення та розрахункові значення об'ємного ККД насосів високого тиску в залежності від температури робочої оливи насосів:

- ___ . . ___ - заводські значення об'ємного ККД насосів високого тиску HT-400 насосних агрегатів для гідророзриву пластів Halliburton Tier IV DGB;
- ___ . ___ - заводські значення об'ємного ККД насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів для гідророзриву пластів УН1-630×700;
- _____ - експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску HT-400 насосних агрегатів Halliburton Tier IV DGB;
- - експериментальні значення об'ємного ККД насосів високого тиску 4P-700 насосних агрегатів УН1-630×700.

Ґрунтуючись на одержаних експериментальних результатах, можна з упевненістю підтвердити життєздатність теоретичної моделі енергетичних витрат насосу високого тиску мобільних УТТ.

Список використаних джерел

1. Xiaoning Wang (2013). Large-eddy Simulation of Sand Streamers in Wind-blown Sand, *Procedia Engineering*, Volume 61, Pages 108-110.
2. Piasecki, T., Bejger, A., & Kozak, M. (2016). The assessment of the operational suitability of mud pumps on deep water drillships depends on maintenance strategy. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie*, 46 (118), 49-53.



Мирний О. Ю.,
здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: oleh.myrnyi@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ МАШИНОБУДІВНОЇ ГАЛУЗІ В УМОВАХ ІНДУСТРІЇ 4.0

Сучасне машинобудування проходить етап глобальних змін, спричинених стрімким розвитком ІТ та переходом до Індустрії 4.0. Традиційні методи проєктування, виробництва й експлуатації техніки більше не гарантують конкурентоспроможності на світовому ринку. Тому впровадження інноваційних технологій у галузь стало критичною умовою для виживання та подальшого розвитку підприємств.

Аналіз сучасної науково-технічної літератури [1; 2] та практичного досвіду провідних корпорацій дає змогу виділити низку ключових тенденцій розвитку машинобудування.

Головним і найважливішим вектором є повна цифровізація виробництва та інтеграція систем Промислового інтернету речей. Оснащення верстатів і техніки датчиками забезпечує збір даних про стан обладнання в режимі реального часу. Техніка самостійно інформує про знос компонентів ще до виникнення критичних несправностей.

Ще одним перспективним напрямом є розвиток та масштабування адитивних технологій (3D-друку). Якщо раніше їх застосовували переважно для швидкого прототипування, то сьогодні 3D-друк трансформувався у повноцінний спосіб виробництва готових деталей, зокрема з використанням металевих порошків, титану та композитів. Адитивне виробництво дає змогу виготовляти елементи зі складною внутрішньою геометрією, як-от оптимізовані системи охолодження, які неможливо отримати шляхом традиційного фрезерування чи лиття.

Третьою інновацією, що докорінно трансформує галузь машинобудування, є впровадження «цифрових двійників». Це віртуальна модель фізичного об'єкта, процесу чи цілісної системи, що працює паралельно зі своїм реальним прототипом. Така технологія дозволяє інженерам здійснювати віртуальне тестування, моделювати різноманітні навантаження та оптимізувати функціонування машини ще на стадії проєктування. Згідно з експертними оцінками, застосування цифрових двійників дає змогу скоротити час виходу продукту на ринок, а також значно зменшити витрати, пов'язані з натурними випробуваннями.

Четвертий тренд полягає в інтеграції алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання в системи управління якістю. Завдяки навчанню на тисячах еталонних зразків, системи комп'ютерного зору здатні з високою швидкістю

виявляти найменші дефекти поверхонь, як-от мікротріщини, пори чи відхилення розмірів, недоступні для візуального контролю людиною.

Особливої уваги потребує концепція «зеленого» машинобудування. Через глобальні кліматичні зміни та посилення екологічних вимог виробники змушені трансформувати свої технологічні цикли. До сучасних тенденцій належать впровадження енергоощадних технологій, застосування вторинної сировини та мінімізація відходів, зокрема мастильно-охолоджувальних рідин. Розбудова циркулярної економіки в галузі машинобудування перетворюється на новий орієнтир екологічної відповідальності підприємств.

Попри очевидні переваги, впровадження цих інновацій стримується низкою чинників, зокрема: високою вартістю модернізації обладнання, браком кваліфікованих інженерів, які вміють працювати з сучасним програмним забезпеченням, та вразливістю промислових мереж до кіберзагроз. Для подолання цих викликів необхідний системний підхід і тісна співпраця держави, бізнесу та закладів вищої освіти.

Отже, актуальні напрями розвитку машинобудівної галузі невід'ємно пов'язані з конвергенцією інформаційних та виробничих систем. Впровадження цифровізації, адитивних технологій, штучного інтелекту та моделювання цифрових двійників стає рушійною силою продуктивності, що сприяє створенню складнішої, якіснішої та більш конкурентоспроможної продукції. Майбутні розвідки в цьому напрямі доцільно зосередити на формуванні економічно виважених стратегій імплементації стандартів Індустрії 4.0 на вітчизняних підприємствах, з огляду на їхні індивідуальні ресурсні обмеження та можливості.

Список використаних джерел

1. Осипов В.М. Стратегія машинобудівного підприємства в контексті декларативної парадигми «Індустрія 4.0». *Економічний журнал Одеського політехнічного університету*. 2024. № 3 (29). С. 80-86. URL: <https://economics.net.ua/ejopu/2024/No3/80.pdf>. DOI: 10.15276/EJ.03.2024.10. DOI: 10.5281/zenodo.13905767.

2. Джафарова Е., Карпенко М. Особливості та проблеми впровадження індустрії 4.0 в Україні. *Економіка та суспільство*, 2021. № (32). DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2021-32-19>



Макар О. З.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: oleh.makar@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЙ ЗМІШУВАЧІВ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Ефективне використання мінеральних добрив є одним із ключових чинників підвищення врожайності сільськогосподарських культур та забезпечення стабільності агропромислового виробництва. Важливим етапом технологічного процесу підготовки добрив до внесення є їх змішування. Воно повинно забезпечувати високу однорідність суміші, рівномірний розподіл компонентів та збереження фізико-механічних властивостей матеріалу. Саме тому удосконалення технічних засобів для змішування мінеральних добрив залишається актуальним напрямом розвитку сучасної агроінженерії [1, 2].

На сьогодні у сільськогосподарському виробництві застосовують різні типи змішувачів мінеральних добрив. Вони відрізняються конструкцією робочих органів, принципом дії, а також технологічними можливостями. Найбільш поширеними є шнекові, лопатеві, барабанні, стрічкові змішувачі. Кожен із зазначених типів має певні переваги та недоліки, які визначають сферу їх використання [3]. Шнекові змішувачі характеризуються простотою конструкції, компактністю та можливістю одночасного транспортування і перемішування матеріалу. Робочим органом у таких машинах є шнек. Він забезпечує переміщення компонентів уздовж робочої камери, їх інтенсивне перемішування. До переваг шнекових змішувачів належать: відносно невеликі габарити; висока продуктивність; простота технічного обслуговування. Недоліком є нерівномірність змішування при роботі з компонентами, що мають значну різницю у гранулометричному складі чи густині. Крім того, надмірна інтенсивність дії шнека може призводити до руйнування гранул добрив, а також погіршення якості суміші [4]. Лопатеві змішувачі забезпечують більш інтенсивне перемішування матеріалу. Це відбувається за рахунок складної траєкторії руху частинок у робочій камері. Робочі органи у вигляді лопатей створюють турбулентний рух суміші. Це сприяє підвищенню однорідності готового продукту. Такі змішувачі широко використовують у випадках, коли необхідно отримати високий ступінь рівномірності розподілу компонентів. Проте лопатеві конструкції характеризуються підвищеною енергоємністю процесу, а також складнішою конструкцією приводу [5]. Барабанні змішувачі працюють за принципом обертання циліндричної ємності. В середині останньої відбувається переміщення та пересипання компонентів суміші. Перевагою таких машин є простота конструкції та можливість роботи з великими обсягами матеріалу. Разом із тим ефективність змішування у барабанних апаратах часто є недостатньою. Особливо це спостерігається при невеликій тривалості процесу. Для підвищення інтенсивності перемішування всередині барабана встановлюють додаткові перегородки або напрямні елементи [6]. Окрему групу становлять стрічкові змішувачі. В них перемішування здійснюється за

допомогою стрічкових робочих органів. Такі конструкції забезпечують плавне переміщення матеріалу та відносно низьке енергоспоживання. Водночас вони мають обмеження щодо роботи з вологими або схильними до злипання компонентами [7].

Аналіз сучасних конструкцій змішувачів мінеральних добрив свідчить про те, що основними напрямками їх удосконалення є: підвищення однорідності суміші; зниження енерговитрат; забезпечення стабільності технологічного процесу. Чимала увага приділяється: оптимізації геометричних параметрів робочих органів; вибору раціональних режимів роботи; застосуванню комбінованих схем перемішування. Перспективним напрямом є використання комп'ютерного моделювання руху частинок матеріалу. Він дозволяє оцінювати ефективність конструкції ще на етапі проектування.

Отже, аналіз існуючих конструкцій змішувачів мінеральних добрив засвідчив наступне. Вибір типу обладнання залежить від фізико-механічних властивостей компонентів, необхідної продуктивності, вимог до якості суміші. Подальше вдосконалення змішувального обладнання повинно бути спрямоване на забезпечення високої ефективності технологічного процесу при мінімальних енерговитратах, а також збереженні якості мінеральних добрив.

Список використаних джерел

1. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини: підручник для студентів спеціальностей механічної інженерії закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2020. 258 с.
2. Попов С.В. Визначення потужності під час роботи розчинозмішувальної установки зі шнековим робочим органом. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. Кременчук: КДПУ, 2007. Вип. 6 (47), ч. 1. С.118–122.
3. Кісільов Р.В., Лузан П.Г., Амосов В.В., Васильковський М.О. Дослідження впливу конструктивних параметрів змішувача на якість приготованої кормової суміші. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12 (43), ч. 1. С. 187-194.
4. Ільченко А.В., Олійник М.О. Обґрунтування конструктивнотехнологічної схеми змішувача з робочим органом у вигляді шнека. Збірник тез доповідей XXVI Міжнародної наукової конференції "Сучасні проблеми землеробської механіки" (17–19 жовтня 2025 року). МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України. С. 418- 420.
5. Кісільов Р.В., Лузан П.Г., Богатирьов Д.В., Нестеренко О.В. Дослідження процесу сумішоутворення лопатевим змішувачем для ВРХ. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2022. Вип. 52. С. 66-72.
6. Дударєв І., Гунько Ю. Визначення переваг гравітаційного змішувача сипких та гранульованих матеріалів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*. 2019. №2 (13). С. 5-13.
7. Дудін В.Ю. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів стрічково-гвинтового змішувача сипких кормів. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. 2023. Вип. 53. С. 112-121.

Тристан В. О.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: vadym.trystan@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ АБРАЗИВНОЇ СТІЙКОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН НАНЕСЕННЯМ НІКЕЛЕВИХ ТОРЕЗТВЕРДОСПЛАВНИХ ПОКРИТТІВ

Абразивне зношування є одним із найпоширеніших видів деградації деталей машин у сільськогосподарській техніці. Робочі поверхні зазнають інтенсивної дії твердих частинок, що призводить до втрати геометрії, зниження точності та передчасного виходу з ладу.

Одним із ефективних способів підвищення довговічності є нанесення композиційних покриттів на основі нікелю, легованих твердими фазами (карбіди, бориди, оксиди), які формують так звані торезтвёрдосплавні структури. Такі покриття поєднують пластичність металевої матриці з високою твердістю дисперсних включень, що підвищує опір абразивному зношуванню [1, 2].

Мета роботи полягає у підвищенні абразивної стійкості деталей машин обґрунтуванням доцільності нанесення нікелевих торезтвёрдосплавних покриттів та аналізу їх експлуатаційної ефективності.

Розглядалися композиційні покриття на основі нікелю з введенням твердих фаз (WC, SiC, Al₂O₃). Формування покриттів здійснювалося методами наплавлення або електролітичного осадження з подальшим термічним зміцненням.

Абразивну стійкість оцінювали за інтенсивністю масового зносу та коефіцієнтом відносної зносостійкості. Режим навантаження відповідав умовам сухого абразивного тертя, що моделює роботу ґрунтообробних елементів машин.

Встановлено, що нанесення нікелевих торезтвёрдосплавних покриттів призводить до суттєвого зниження інтенсивності зношування поверхні деталей. Основним механізмом руйнування у базовому матеріалі є мікрорізання, пластична деформація, тоді як у покриттях з твердими включеннями переважає механізм мікроудару з частковим руйнуванням абразивних частинок.

Підвищення зносостійкості можна пояснити такими факторами: наявність твердих карбідних і оксидних включень, які сприймають основне навантаження; зменшення площі фактичного контакту абразиву з матрицею; ефект «екранування» поверхні частинками зміцнювальної фази; підвищення мікротвердості покриття порівняно з основним металом [4-6].

Таким чином, нікелеві композиційні покриття можуть підвищувати зносостійкість у 2...5 разів залежно від типу та концентрації зміцнювальної фази.

Список використаних джерел

1. Попов С.В., Франк Т.В. Підвищення абразивної стійкості опори ковзання. *Інноваційні технології розвитку машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем*: зб. тез доп. II Всеукр. наук.-техн. конф., м. Рівне, 9-11 листоп. 2020 р. Рівне, 2020. С. 22-23.
2. Popov S., Gnitko S., Vasyliiev A. Improving the abrasive resistance of a slide frame in a mortar mixer. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020. №1/1(103). P. 6-14.
3. Liu Y., Wang K., Fu H. Improvement of the High Temperature Wear Resistance of Laser Cladding Nickel-Based Coating: A Review. *Materials*, 2023. <https://doi.org/10.3390/met13050840>
4. Zellele D. M. et al. A Review on Properties of Electrodeposited Nickel Composite Coatings. *Materials*. 2024. <https://doi.org/10.3390/ma17235715>
5. Mabrouk A., Farhat Z. Low-Stress Abrasion of Ni-Based Composite Coatings. *Coatings*. 2023. <https://doi.org/10.3390/coatings13091647>
6. Mahidashti Z. et al. Review of Nickel-Based Electrodeposited Tribo-Coatings. *Transactions of the Indian Institute of Metals*. 2017. <https://doi.org/10.1007/s12666-017-1175-x>



ФУТЕРУВАННЯ ВНУТРІШНІХ ПОВЕРХОНЬ КУЗОВА ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ МЕХАНІЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ КАРТОПЛІ

Тарасенко Д.С.

старший викладач кафедри механічної та електричної інженерії

e-mail: dmytro.tarasenko@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м. Полтава, Україна

Збереження якості картоплі під час післязбиральних технологічних операцій залишається важливою науково-технічною проблемою сучасного аграрного виробництва. Значні втрати продукції виникають у процесі завантаження та транспортування бульб, що пов'язано з механічними пошкодженнями при контакті з металевими поверхнями транспортних засобів. За даними сучасних досліджень, частка механічно пошкодженої продукції може становити від 10 до 40 %, що негативно впливає на якість врожаю [1, 2]. Тому актуальним є пошук технічних рішень для зменшення ударних навантажень під час завантаження картоплі.

Метою дослідження є підвищення збереження картоплі шляхом застосування футерування внутрішніх поверхонь кузова транспортного засобу поліуретановими еластомерами. Для досягнення мети проведено аналіз причин механічних пошкоджень, обґрунтовано вибір матеріалу футерування та виконано експериментальні дослідження впливу амортизуючого покриття на величину ударних навантажень.

Об'єктом дослідження став стандартний кузов вантажного автомобіля вантажопідйомністю 5 т зі сталеву поверхнею. Як матеріал футерування застосовано листовий поліуретановий еластомер товщиною 15 та 30 мм. Експериментальні дослідження виконували методом вільного падіння бульб картоплі з висоти 20–80 см. Пікові прискорення визначали за допомогою акселерометра, а ступінь пошкодження оцінювали за об'ємом пошкодженої тканини.

Результати досліджень показали, що футерування внутрішніх поверхонь кузова зменшує ударні навантаження. Використання поліуретанового покриття товщиною 15 мм дозволило знизити пікові прискорення у 1,9–2,4 рази, тоді як футерування товщиною 30 мм забезпечило зменшення у 3,1–3,6 рази. При цьому об'єм пошкодженої тканини зменшився відповідно у 3,4 та 6,2 рази. Також встановлено значне зниження частоти стирання шкірки бульб.

Отримані результати підтверджують ефективність застосування поліуретанових футерувальних матеріалів для зменшення механічних пошкоджень картоплі. Запропоноване конструктивне рішення є технологічно простим, економічно доцільним та може бути впроваджене без значної модернізації транспортних засобів. Застосування футерування дозволяє підвищити якість продукції та зменшити втрати під час транспортування.

Таким чином, використання поліуретанового футерування внутрішніх поверхонь кузова транспортних засобів є ефективним способом зниження механічних пошкоджень картоплі та підвищення її цілісності під час післязбиральних технологічних операцій.

Список використаних джерел

1. Al-Dairi M., Pathare P., Opara U. Mechanical damage of fresh produce in postharvest transportation. *Trends in Food Science & Technology*. 2022. Vol.124. P.195–207.
2. Hendricks R., Olsen N., Thornton M. Development of potato bruises as influenced by impact height. *American Journal of Potato Research*. 2025.
3. Xie S., Wang C., Deng W. Experimental study on collision acceleration and damage characteristics of potato. *Journal of Food Process Engineering*. 2020. Vol.43.



Шкляр Ю. В.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: yurii.shkliar@pdau.edu.ua

Канівець О. В.,
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ВАЛАХ ПІСЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ЗМІЦНЕННЯ

Вали належать до найбільш відповідальних деталей машин, що працюють в умовах циклічного знакозмінного навантаження. Значна частина їх руйнувань зумовлена втомними тріщинами, які зароджуються на поверхні або в зонах концентраторів напружень [1]. Поверхнєве пластичне деформування (ППД) такі як, накочування роликами, вібраційне зміцнення та дробоструминна обробка, є ефективним способом формування стискальних залишкових напружень у поверхневому шарі.

Об'єктивне оцінювання результатів зміцнення ППД неможливе без надійного методу вимірювання залишкових напружень. У науковій практиці застосовують дифракційні методи, методи на основі релаксації напружень та непрямі фізико-механічні підходи. Кожен із них має специфічні переваги, обмеження та чутливість до стану матеріалу після ППД. Незважаючи на значну кількість публікацій у даному напрямі, систематичного порівняльного аналізу метрологічних характеристик різних методів стосовно до зміцнених валів бракує. Більшість доступних робіт зосереджені або на одному матеріалі, або на одному методі, що ускладнює вибір оптимального підходу для виробничих задач [2].

Об'єктами досліджень стали циліндричні вали діаметром 40–80 мм зі сталей 40X, 38ХНЗМФА та 42CrMo4. Усі зразки загартовано та відпущено до твердості 32–42 HRC, після чого виконано чистове точіння з шорсткістю $R_a = 2,5\text{--}3,2$ мкм.

Зміцнення ППД здійснювали трьома способами: обкочуванням роликами із зусиллям 1000–2500 Н при подачі 0,05–0,12 мм/об; вібраційним зміцненням із частотою 100–200 Гц при амплітуді 0,3–0,8 мм; комбінованим методом із накочуванням при наступній дробоструминній обробці. Залишкові напруження визначали чотирма методами: рентгенівською дифракцією (XRD); методом свердління отвору [6]; нейтронною дифракцією та магнітним методом Баркгаузена як допоміжним засобом контролю.

Вимірювання методом XRD для сталі 40X після обкочування роликами показали стискальні поверхнєві напруження -380...-520 МПа із максимумом на глибині 50–80 мкм. На глибині 0,8–1,0 мм напруження наближаються до нуля

або набувають незначних розтягувальних значень до +80 МПа. Сталь 38ХНЗМФА після вібраційного зміцнення завдяки більшій пластичності матеріалу при динамічному навантаженні показала вищий рівень стискальних напружень від -420 МПа до -600 МПа. Глибина зміцненого шару за критерієм нульового рівня напружень становить 1,0–1,3 мм, що перевищує аналогічний показник після статичного обкочування.

Метод свердління отвору дав результати, що відрізняються від XRD у межах 5–7 %, але знаходяться в межах метрологічної невизначеності обох методів [7]. У зразках із нейтронною дифракцією підтвердились рівномірність розподілу залишкових напружень у тангенційному та осьовому напрямках і суттєву неоднорідність у радіальному напрямку. Максимальні стискальні напруження у зразках із сталі 42CrMo4 після комбінованого зміцнення формувались у зоні 50–200 мкм від поверхні та знижувались до нуля на глибині 2,5–3,0 мм. Магнітний сигнал Баркгаузена монотонно зменшується зі збільшенням рівня стискальних напружень [3].

Порівняльний аналіз показав, що рентгенівська дифракція залишається основним методом для оцінки стану приповерхневого шару завдяки неруйнівності та просторовій роздільній здатності до 1–2 мм. Глибина зондування класичним XRD обмежена 10–50 мкм, але у поєднанні із електролітичним зніманням шарів даний метод забезпечує повний профіль розподілу напружень до 0,5–1,0 мм [4, 5]. Метод свердління отвору є практичним для польових вимірювань, однак є напівруйнівним і має обмеження щодо відстані від вільного краю деталі та мінімальних розмірів перерізу. Нейтронна дифракція є найінформативнішим методом, але й найкоштовнішим. Його застосування доцільне для верифікації скінченно-елементних моделей та дослідження об'ємного розподілу напружень у масивних деталях.

Усі чотири методи визначення залишкових напружень дають взаємоузгоджені результати із відхиленням не більше 7 %, що підтверджує можливість використання методу свердління отвору або XRD у виробничій практиці замість кошовнішої нейтронної дифракції. Для сталей 40Х, 38ХНЗМФА та 42CrMo4 після ППД встановлено рівень стискальних залишкових напружень -380...-600 МПа на поверхні при глибині зміцненого шару 0,8–1,3 мм. Вібраційне зміцнення формує вищий рівень поверхневих стискальних напружень порівняно зі статичним напруженням при однаковому рівні зусилля. Магнітний метод Баркгаузена придатний лише для оперативного якісного контролю та потребує індивідуального калібрування для кожного матеріалу. Перспективним напрямком подальших досліджень є розробка методологічних рекомендацій для автоматизованого XRD-контролю та верифікація скінченно-елементних моделей процесів ППД для різних конструкційних сталей.

Список використаних джерел

1. Harrington J. S., Schajer G. S. Measurement of structural stresses by hole-drilling and DIC. *Experimental Mechanics*. 2017. Vol. 57(4). P. 559–567. <https://doi.org/10.1007/s11340-016-0247-x>

2. Дудніков А. А., Дудник В. В., Бурлака О. А., Канівець О. В. Зміна характеристик матеріалу деталей при вібраційному зміцненні. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2020, № 4 (99). С. 21-28. DOI: 10.37128/2306-8744-2020-4-3
3. Withers P. J., Bhadeshia H. K. D. H. Residual stress. Part 1 – Measurement techniques. *Materials Science and Technology*. 2001. Vol. 17(4). P. 355–365. <https://doi.org/10.1179/026708301101509980>
4. Withers P. J. Residual stress and its role in failure. *Reports on Progress in Physics*. 2007. Vol. 70(12). P. 2211–2264. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/70/12/R04>
5. Withers P. J. Synchrotron X-ray diffraction. Practical residual stress measurement methods / ed. G. S. Schajer. Wiley, 2013. P. 163–194. <https://doi.org/10.1002/9781118402832.ch7>
6. ASTM International. ASTM E837-20: Standard test method for determining residual stresses by the hole-drilling strain-gage method. 2020. <https://doi.org/10.1520/E0837-20>
7. Lakey M. C., Hill M. R. Validation of hole-drilling residual stress measurements in workpieces of various thickness. *Experimental Mechanics*. 2024. Vol. 64. P. 1529–1544. <https://doi.org/10.1007/s11340-024-01107-4>



Горюнов Б. О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

ЦИФРОВІ ДВІЙНИКИ У МАШИНОБУДУВАННІ: ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТА НАПЯМИ РОЗВИТКУ

Сучасний розвиток машинобудування супроводжується активним упровадженням цифрових технологій, які забезпечують підвищення ефективності виробництва, якості продукції та рівня автоматизації технічних процесів. Однією з найбільш перспективних технологій є використання цифрових двійників, які дозволяють створювати віртуальні моделі реальних об'єктів, процесів або систем із можливістю постійного обміну даними між фізичним і цифровим середовищем. Використання цифрових двійників відкриває нові можливості для прогнозування роботи машин, оптимізації виробничих процесів і зменшення експлуатаційних витрат.

Цифровий двійник являє собою цифрову копію технічного об'єкта, яка відображає його конструктивні, функціональні та експлуатаційні характеристики. Така модель створюється на основі даних, отриманих від датчиків, систем моніторингу та програмного забезпечення, що забезпечує постійне оновлення інформації про стан машини в режимі реального часу. У машинобудуванні цифрові двійники застосовуються для моделювання роботи верстатів, двигунів, транспортних засобів, роботизованих систем та виробничих ліній [1-4].

Однією з головних переваг використання цифрових двійників є можливість прогнозування технічного стану обладнання. Аналізуючи параметри роботи машини, цифрова модель дозволяє виявляти потенційні несправності ще до їх фактичного виникнення. Це сприяє переходу від планово-попереджувального ремонту до системи прогнозованого технічного обслуговування, що дозволяє зменшити кількість аварійних зупинок обладнання та скоротити витрати на ремонт. Особливо ефективним такий підхід є для високовартісної та складної техніки, де простої можуть призводити до значних економічних втрат.

Важливим напрямом застосування цифрових двійників є оптимізація процесів проектування та виробництва машин. Використання віртуальних моделей дозволяє проводити випробування конструкцій без створення великої кількості фізичних прототипів. Це дає змогу скоротити час розроблення нової техніки, зменшити витрати на матеріали та підвищити точність інженерних розрахунків. За допомогою цифрового моделювання можна оцінювати міцність деталей, динаміку навантажень, теплові процеси та інші характеристики ще на етапі проектування виробу.

Суттєве значення цифрові двійники мають і для автоматизації виробничих процесів. Інтеграція цифрових моделей із системами керування дозволяє

здійснювати моніторинг роботи обладнання, аналіз ефективності виробництва та оперативне коригування технологічних параметрів. У межах концепції «розумного виробництва» цифрові двійники сприяють створенню гнучких виробничих систем, здатних швидко адаптуватися до змін виробничих умов та індивідуальних потреб замовників.

Перспективним є використання цифрових двійників у навчальному процесі та підготовці інженерних кадрів. Віртуальні моделі машин і виробничих процесів дозволяють студентам відпрацьовувати практичні навички, аналізувати роботу складних технічних систем і проводити експерименти без ризику пошкодження реального обладнання. Це підвищує якість підготовки майбутніх інженерів та сприяє розвитку цифрових компетентностей.

Разом із перевагами впровадження цифрових двійників існують і певні труднощі. До них належать висока вартість програмного забезпечення та обладнання, потреба у значних обчислювальних ресурсах, складність інтеграції різних інформаційних систем і необхідність забезпечення кібербезпеки даних. Крім того, ефективне використання цифрових двійників потребує високого рівня підготовки персоналу та постійного оновлення цифрової інфраструктури підприємств.

Отже, цифрові двійники є одним із ключових напрямів цифрової трансформації машинобудування. Їх використання забезпечує підвищення надійності техніки, оптимізацію виробничих процесів, скорочення витрат і покращення якості продукції. Подальший розвиток технологій цифрового моделювання та інтеграція їх із системами штучного інтелекту, Інтернету речей і автоматизованого управління створюватимуть нові можливості для інноваційного розвитку сучасного машинобудування.

Список використаних джерел

1. Grieves M., Vickers J. Digital Twin : Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems // Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems. Cham : Springer, 2017. P. 85–113.
2. Tao F., Qi Q. Digital Twin and Big Data Towards Smart Manufacturing and Industry 4.0 // Engineering. 2019. Vol. 5, № 4. P. 653–661.
3. Digital twins in mechanical engineering systems // Journal of Manufacturing Systems. 2022. Vol. 64. P. 178–191.
4. Siemens. Digital Twin Technology in Manufacturing. Munich : Siemens AG, 2023. 74 p.



Горюнов Б. О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

НОВІТНІ КОНСТРУКЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ МАШИНОБУДУВАННЯ: ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

Сучасне машинобудування є однією з базових галузей промисловості, розвиток якої значною мірою залежить від упровадження нових технологій і вдосконалення матеріальної бази виробництва. Підвищення вимог до надійності, довговічності, енергоефективності та екологічності машин і механізмів зумовлює необхідність використання новітніх конструкційних матеріалів. Саме властивості матеріалу визначають працездатність деталей у складних умовах навантаження, високих температур, агресивних середовищ і циклічних деформацій. Тому пошук і впровадження сучасних матеріалів є важливим напрямом розвитку машинобудівної галузі.

Одним із перспективних напрямів є застосування високоміцних і легованих сталей нового покоління. Такі матеріали поєднують високу міцність, пластичність і зносостійкість, що дозволяє зменшувати масу конструкцій без втрати їхньої надійності. Високоміцні сталі широко використовуються у виробництві транспортної техніки, сільськогосподарських машин, верстатного обладнання та енергетичних установок. Завдяки покращеним механічним характеристикам вони забезпечують підвищення ресурсу роботи деталей та зниження витрат металу.

Важливу роль у сучасному машинобудуванні відіграють алюмінієві та титанові сплави. Їх головною перевагою є мала густина у поєднанні з достатньою міцністю та корозійною стійкістю. Використання таких матеріалів дозволяє значно зменшити масу машин, підвищити паливну економічність транспортних засобів і збільшити швидкісні характеристики техніки. Особливо ефективними ці сплави є в авіабудуванні, автомобілебудуванні, робототехніці та виробництві високоточного обладнання.

Суттєві перспективи мають композиційні матеріали, що складаються з матриці та армувальних компонентів. Поєднання різнорідних складників дає змогу отримати матеріали із заданими властивостями: високою міцністю, малою вагою, стійкістю до втомного руйнування та впливу зовнішнього середовища. У машинобудуванні застосовують полімерні композити, вуглепластики, склопластики та металокомпозити. Вони використовуються для виготовлення корпусних деталей, захисних елементів, лопатей, панелей і вузлів, де важливе поєднання міцності та легкості.

Окрему увагу привертають порошкові та наноструктуровані матеріали. Методи порошкової металургії дозволяють створювати деталі складної форми з

високою точністю та мінімальними втратами матеріалу. Такі технології є ефективними для виготовлення підшипників, фільтрів, шестерень і деталей із спеціальними властивостями. Наноструктуровані матеріали характеризуються підвищеною твердістю, зносостійкістю та жароміцністю завдяки особливій структурі на рівні мікро- і наночастинок. Їх використання відкриває нові можливості для створення високонавантажених деталей машин нового покоління [1-4].

Значного поширення набувають полімерні матеріали технічного призначення. Сучасні інженерні полімери здатні працювати в умовах значних механічних навантажень, тертя та впливу агресивних середовищ. Вони використовуються для виготовлення втулок, ущільнювачів, шестерень, корпусів та ізоляційних елементів. Їх застосування дозволяє зменшити шум, вагу конструкції та витрати на обслуговування техніки.

Водночас упровадження новітніх конструкційних матеріалів потребує врахування економічної доцільності, технологічності обробки, доступності сировини та можливостей ремонту готових виробів. Не менш важливими є питання екологічності виробництва та повторного використання матеріалів після завершення життєвого циклу машин. Саме тому вибір матеріалу повинен здійснюватися комплексно з урахуванням технічних, економічних і екологічних чинників.

Отже, новітні конструкційні матеріали є основою інноваційного розвитку машинобудування. Використання високоміцних сталей, легких сплавів, композиційних, порошкових, наноструктурованих та полімерних матеріалів дозволяє створювати більш надійну, легку, економічну та довговічну техніку. Подальший розвиток цієї сфери сприятиме підвищенню конкурентоспроможності машинобудівної продукції та технологічному прогресу промисловості.

Список використаних джерел

1. Callister W.D.. Materials Science and Engineering : An Introduction. 10th ed. New York : Wiley, 2020. 960 p.
2. Ashby M.F.. Materials Selection in Mechanical Design. 5th ed. Oxford : Butterworth-Heinemann, 2019. 620 p.
3. Advanced composite materials for mechanical applications // Composite Structures. 2022. Vol. 287. P. 115–129.
4. Modern trends in powder materials // Powder Metallurgy Review. 2021. Vol. 10, № 2. P. 33–41.



Горюнов Б. О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

МАШИНОБУДУВАННЯ В УМОВАХ INDUSTRY 4.0: ТЕХНОЛОГІЧНІ ТРАНСФОРМАЦІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

Сучасний етап розвитку промисловості характеризується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизації та інтелектуальних систем управління виробництвом. Концепція Industry 4.0, яка сформувалася як новий напрям цифрової трансформації промислового сектору, суттєво змінює підходи до організації виробничих процесів, управління ресурсами та створення машинобудівної продукції. Основою цієї концепції є інтеграція інформаційних технологій, штучного інтелекту, Інтернету речей, роботизації та кіберфізичних систем у єдине цифрове виробниче середовище. Для машинобудування це означає перехід до більш гнучкого, автоматизованого та ефективного виробництва.

Одним із ключових напрямів розвитку машинобудування в умовах Industry 4.0 є автоматизація виробничих процесів. Використання роботизованих комплексів, автоматичних ліній та систем числового програмного керування дозволяє підвищити точність виготовлення деталей, скоротити виробничі витрати та зменшити вплив людського фактора. Сучасні роботизовані системи здатні виконувати складні технологічні операції з високою швидкістю та стабільною якістю, що особливо важливо у серійному та високоточному виробництві [1].

Важливу роль у цифровій трансформації машинобудування відіграє Інтернет речей (IoT). Підключення обладнання до єдиної інформаційної мережі забезпечує постійний обмін даними між машинами, датчиками та системами управління. Це дозволяє здійснювати моніторинг технічного стану обладнання в режимі реального часу, контролювати виробничі параметри та оперативно реагувати на зміни у роботі систем. Використання IoT сприяє підвищенню продуктивності виробництва та зниженню кількості аварійних ситуацій.

Суттєвий вплив на розвиток машинобудування має впровадження технологій штучного інтелекту та аналізу великих масивів даних. Інтелектуальні алгоритми дозволяють прогнозувати можливі несправності обладнання, оптимізувати виробничі процеси та підвищувати ефективність управління підприємством. Аналіз даних, отриманих із виробничих систем, дає змогу виявляти приховані закономірності, оцінювати ефективність роботи обладнання та приймати обґрунтовані технічні рішення.

Одним із перспективних напрямів є використання адитивних технологій у машинобудуванні. Тривимірний друк деталей дозволяє виготовляти складні конструкції з високою точністю та мінімальними витратами матеріалу. Адитивне

виробництво значно скорочує час створення прототипів, забезпечує гнучкість виробництва та відкриває можливості для виготовлення індивідуалізованої продукції. Особливо актуальними такі технології є для авіаційної, автомобільної та медичної галузей машинобудування.

Важливим елементом Industry 4.0 є створення цифрових двійників виробничих систем і технічних об'єктів. Цифрові моделі машин та обладнання дозволяють моделювати режими роботи, прогнозувати зношування деталей і оптимізувати експлуатаційні параметри без необхідності проведення великої кількості фізичних випробувань. Це сприяє скороченню витрат на проектування, підвищенню надійності техніки та прискоренню впровадження інновацій у виробництво [2-3].

Разом із технологічними перевагами впровадження Industry 4.0 у машинобудуванні виникають і певні виклики. До них належать значні витрати на модернізацію виробництва, необхідність оновлення програмного забезпечення, забезпечення кібербезпеки та підготовка висококваліфікованих кадрів, здатних працювати з цифровими системами управління. Крім того, ефективне впровадження сучасних технологій потребує інтеграції виробничих, інформаційних та управлінських процесів у єдину цифрову екосистему.

Отже, машинобудування в умовах Industry 4.0 переходить на новий рівень розвитку, що базується на цифровізації, автоматизації та використанні інтелектуальних технологій. Упровадження роботизованих систем, Інтернету речей, штучного інтелекту, адитивного виробництва та цифрових двійників сприяє підвищенню продуктивності, якості та конкурентоспроможності машинобудівної продукції. Подальший розвиток концепції Industry 4.0 визначатиме основні напрями модернізації промисловості та формування високотехнологічного виробництва майбутнього.

Список використаних джерел

1. Дмитрієв, Д. О., Кириченко, А. М., Кузьмічов, М. Ф. Цифрові двійники смартпромисловості в машинобудівних технологіях і інженерній освіті. Вісник Херсонського національного технічного університету, 2026, №1.
2. A spatio-temporal feature fusion network based on deep learning for collaborative prediction of tool wear and machining precision. *Discover Computing*, 2026, 29, 260.
3. A physics-informed neural network with adaptive loss weighting for tool wear and remaining useful life prediction in deep hole boring. *Journal of Manufacturing Processes*, 2026, 160, 82–98.



Горюнов Б. О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

ІННОВАЦІЙНІ МЕТОДИ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН: СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ

У сучасному машинобудуванні важливим завданням є підвищення довговічності та надійності деталей машин, які працюють в умовах значних механічних навантажень, тертя, вібрацій і впливу агресивного середовища. Значна частина відмов технічних систем пов'язана саме зі зношуванням робочих поверхонь деталей, що призводить до зниження ефективності роботи машин, збільшення витрат на ремонт і скорочення терміну експлуатації обладнання. У зв'язку з цим особливого значення набуває застосування інноваційних методів зміцнення поверхонь, які дозволяють покращити експлуатаційні характеристики деталей без суттєвого збільшення їхньої маси чи зміни конструкції.

Одним із найбільш поширених сучасних методів є лазерне зміцнення поверхонь. Використання лазерного випромінювання забезпечує локальний нагрів поверхневого шару матеріалу з подальшим швидким охолодженням, у результаті чого формується дрібнозерниста структура з підвищеною твердістю та зносостійкістю. Перевагою лазерної обробки є висока точність, мінімальна деформація деталі та можливість автоматизації технологічного процесу. Такий метод широко застосовується для зміцнення валів, шестерень, ріжучого інструменту та деталей транспортних машин [1-3].

Перспективним напрямом є плазмове напилення покриттів. Суть технології полягає у нанесенні на поверхню деталі спеціальних порошкових матеріалів за допомогою високотемпературного плазмового потоку. Отримані покриття характеризуються високою твердістю, стійкістю до корозії та термічних навантажень. Плазмове напилення дозволяє значно подовжити термін служби деталей, що працюють у складних умовах експлуатації, зокрема елементів турбін, насосів, двигунів та сільськогосподарської техніки [4].

Важливе місце серед сучасних технологій займає іонно-плазмове азотування. Цей метод забезпечує насичення поверхневого шару металу азотом у вакуумному середовищі, що сприяє підвищенню твердості, втомної міцності та зносостійкості матеріалу. Порівняно з традиційними методами хіміко-термічної обробки, іонно-плазмове азотування характеризується меншою тривалістю процесу, рівномірністю зміцнення та нижчим енергоспоживанням. Технологія ефективно використовується для деталей трансмісій, підшипників, штампного оснащення та високонавантажених вузлів машин.

Суттєві перспективи має використання наноструктурованих покриттів. Нанотехнології дозволяють створювати поверхневі шари з унікальними фізико-механічними властивостями, зокрема надвисокою твердістю, термостійкістю та

низьким коефіцієнтом тертя. Нанопокриття на основі карбідів, нітридів і оксидів металів значно зменшують інтенсивність зношування деталей та забезпечують стабільність їх роботи в екстремальних умовах. Такі технології знаходять застосування у високоточному машинобудуванні, авіаційній техніці та виробництві інструментів.

Окрему увагу приділяють методам поверхнево-пластичного деформування, серед яких поширеними є дробоструминна обробка, роликкове накочування та ультразвукове зміцнення. Ці методи сприяють формуванню залишкових стискуючих напружень у поверхневому шарі матеріалу, що підвищує опір втомному руйнуванню та збільшує ресурс деталей. Їх перевагою є відносна простота впровадження, економічність і можливість використання для деталей різної форми та призначення.

Водночас застосування інноваційних методів зміцнення потребує врахування технологічної сумісності матеріалів, економічної доцільності та умов експлуатації деталей. Вибір способу зміцнення повинен здійснюватися з урахуванням характеру навантажень, температурного режиму роботи та вимог до довговічності виробу. Важливим напрямом подальших досліджень є поєднання кількох технологій зміцнення для отримання комплексного ефекту підвищення експлуатаційних характеристик.

Отже, інноваційні методи зміцнення поверхонь деталей машин є важливим засобом підвищення надійності, довговічності та ефективності сучасної техніки. Використання лазерних, плазмових, іонно-плазмових, нанотехнологічних та деформаційних методів дозволяє значно покращити властивості поверхневих шарів матеріалів і забезпечити стабільну роботу машин у складних умовах експлуатації. Подальший розвиток цих технологій сприятиме технічному прогресу машинобудування та підвищенню конкурентоспроможності промислової продукції.

Список використаних джерел

1. Davis J. R. Surface Engineering for Corrosion and Wear Resistance. Materials Park : ASM International, 2001. 390 p.
2. Totten G. E. Steel Heat Treatment : Metallurgy and Technologies. 2nd ed. Boca Raton : CRC Press, 2006. 896 p.
3. Laser surface hardening technologies in mechanical engineering // Surface Engineering. 2022. Vol. 38, № 4. P. 245–257.
4. Plasma coating methods for machine parts strengthening // Journal of Manufacturing Processes. 2021. Vol. 67. P. 88–97.



Горюнов Б. О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

ЕКОЛОГІЗАЦІЯ МАШИНОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА: СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ТА ШЛЯХИ РЕАЛІЗАЦІЇ

Сучасний розвиток промисловості супроводжується зростанням навантаження на навколишнє середовище, що зумовлює необхідність упровадження екологічно орієнтованих підходів у виробничу діяльність підприємств. Особливо актуальним це питання є для машинобудівної галузі, яка характеризується значним споживанням енергетичних і матеріальних ресурсів, утворенням промислових відходів, викидів у атмосферу та використанням великої кількості технологічних рідин і мастильних матеріалів. У зв'язку з цим екологізація машинобудівного виробництва стає важливим напрямом забезпечення сталого розвитку промисловості та підвищення конкурентоспроможності підприємств.

Одним із ключових напрямів екологізації є впровадження ресурсозберігаючих технологій. Раціональне використання сировини, металів, енергоресурсів і води дозволяє зменшити виробничі витрати та негативний вплив на довкілля. Сучасні технології обробки матеріалів забезпечують зниження кількості відходів під час виготовлення деталей, а повторне використання металевої стружки, мастильних матеріалів та технічних рідин сприяє скороченню ресурсних втрат. Особливого значення набуває використання енергоощадного обладнання, яке забезпечує менше споживання електроенергії при збереженні високої продуктивності виробництва [1].

Важливим напрямом є модернізація технологічних процесів із метою зменшення шкідливих викидів і промислових забруднень. У машинобудуванні активно впроваджуються системи очищення повітря, фільтрації виробничих газів та очищення стічних вод. Значна увага приділяється зменшенню використання токсичних речовин, лакофарбових матеріалів і хімічних реагентів, які негативно впливають на екологічний стан навколишнього середовища та здоров'я працівників. Використання екологічно безпечних технологій сприяє підвищенню рівня екологічної безпеки виробництва та відповідності міжнародним екологічним стандартам.

Суттєву роль у процесі екологізації машинобудування відіграє цифровізація виробничих систем. Використання автоматизованих систем контролю та моніторингу дозволяє оптимізувати споживання ресурсів, знижувати втрати енергії та своєчасно виявляти неефективні режими роботи обладнання. Цифрові технології дають можливість моделювати виробничі процеси, оцінювати рівень екологічного навантаження та прогнозувати вплив окремих технологічних

операцій на довкілля. Це сприяє прийняттю більш ефективних управлінських рішень щодо організації виробництва [2].

Перспективним напрямом є використання екологічно орієнтованих конструкційних матеріалів. У сучасному машинобудуванні все ширше застосовуються матеріали, придатні до повторної переробки та повторного використання. Особливої актуальності набувають легкі сплави, композиційні матеріали та полімери нового покоління, які дозволяють зменшити масу машин і, відповідно, скоротити енергоспоживання під час їх експлуатації. Крім того, зростає увага до створення технологій безвідходного або маловідходного виробництва.

Важливим складником екологізації є розвиток концепції життєвого циклу продукції. Сучасний підхід передбачає оцінювання екологічного впливу виробу на всіх етапах його існування – від видобутку сировини та виробництва до експлуатації, ремонту й утилізації. Такий підхід сприяє створенню більш екологічних машин і механізмів, які мають тривалий ресурс роботи, менше споживання енергії та можливість повторної переробки після завершення експлуатації [3].

Разом із перевагами екологізації машинобудівного виробництва існують і певні труднощі. Основними серед них є значні фінансові витрати на модернізацію обладнання, необхідність упровадження нових технологій, підготовка кваліфікованого персоналу та забезпечення відповідності міжнародним екологічним вимогам. Проте в довгостроковій перспективі екологізація виробництва дозволяє підвищити ефективність роботи підприємств, знизити витрати ресурсів і зміцнити позиції продукції на світовому ринку.

Отже, екологізація машинобудівного виробництва є важливим напрямом розвитку сучасної промисловості, що поєднує економічну ефективність із дотриманням екологічних вимог. Упровадження ресурсозберігаючих технологій, модернізація виробничих процесів, використання цифрових систем управління та екологічно безпечних матеріалів сприяють зниженню негативного впливу на довкілля та забезпечують сталий розвиток машинобудівної галузі.

Список використаних джерел

1. Dornfeld D. A., Jawahir I. S., Clarens A. F., Yuan Y. Environmental leadership in manufacturing : Role of the CIRP in research and industrial applications // CIRP Annals. 2012. Vol. 61, № 2. P. 497–520.
2. Seliger G. Sustainable Manufacturing : Shaping Global Value Creation. Berlin : Springer, 2008. 408 p.
3. Jawahir I. S., Dillon O. W. Sustainable manufacturing processes : New challenges for developing predictive models and optimization techniques // Proceedings of the First International Conference on Sustainable Manufacturing. Montreal, 2007. P. 1–19.



Добранський С. С.

викладач

*Житомирський агротехнічний фаховий коледж
м. Житомир, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ ТА СВІТУ

Сучасний агропромисловий комплекс (АПК) зазнає суттєвих змін під впливом цифровізації, автоматизації та розвитку робототехніки. Упровадження роботизованих засобів у сільське господарство дозволяє підвищити продуктивність праці, оптимізувати використання ресурсів, знизити витрати виробництва та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище. Для України ця проблема є особливо актуальною через дефіцит робочої сили, зростання вартості ресурсів, необхідність підвищення конкурентоспроможності аграрного сектору та адаптації до сучасних світових тенденцій [1].

Роботизовані технології в АПК включають використання дронів, автономних тракторів, роботизованих систем збору врожаю, автоматизованих систем доїння, сенсорних систем моніторингу та технологій точного землеробства. Основу їх функціонування становлять системи штучного інтелекту, GPS-навігації, машинного навчання та Інтернету [2]. Застосування таких технологій дозволяє оперативно аналізувати стан посівів, визначати рівень вологості ґрунту, контролювати внесення добрив і засобів захисту рослин [3].

У світовій практиці роботизовані системи активно використовуються в країнах із високим рівнем розвитку аграрного виробництва. У Нідерландах широко застосовуються автоматизовані доїльні системи та роботизовані тепличні комплекси. У США активно впроваджуються дрони для моніторингу полів і точкового внесення пестицидів [4]. У Японії поширення набули роботи для збору фруктів та овочів, що дозволяє компенсувати дефіцит робочої сили. В Ізраїлі розвинені системи автоматизованого зрошення та моніторингу стану ґрунтів.

Застосування робототехніки має значний економічний ефект. Використання автономної техніки дозволяє знизити витрати на паливе, оплату праці та матеріальні ресурси. Завдяки технологіям точного землеробства зменшується використання добрив і пестицидів, що сприяє економії коштів та зниженню екологічного навантаження [5]. Автоматизація виробничих процесів дозволяє підвищити врожайність та якість сільськогосподарської продукції.

В Україні роботизовані технології впроваджуються переважно великими агрохолдингами. Найбільш поширеним є використання дронів для моніторингу стану посівів та обприскування полів. Окремі підприємства використовують системи GPS-навігації, автоматизоване керування технікою та сенсорні системи контролю [6]. Проте рівень автоматизації українського АПК залишається значно нижчим порівняно з провідними країнами світу.

Основними бар'єрами розвитку робототехніки в Україні є висока вартість обладнання, недостатній рівень державної підтримки, нестача кваліфікованих кадрів і нерозвинена цифрова інфраструктура в сільській місцевості [7]. Також важливою проблемою залишається недостатня обізнаність фермерів щодо переваг використання роботизованих систем.

Перспективи розвитку робототехніки в агропромисловому комплексі України пов'язані з упровадженням сучасних цифрових технологій, розширенням державних програм підтримки, розвитком освітніх програм для підготовки фахівців та залученням інвестицій у сферу аграрних інновацій. Використання роботизованих засобів сприятиме підвищенню ефективності аграрного виробництва, забезпеченню продовольчої безпеки та зміцненню позицій України на світовому аграрному ринку.

Отже, роботизація агропромислового комплексу є одним із ключових напрямів розвитку сучасного сільського господарства. Використання роботизованих засобів забезпечує підвищення продуктивності, економію ресурсів і зменшення екологічного навантаження [8]. Для України важливим завданням є створення сприятливих умов для широкого впровадження інноваційних технологій у сільськогосподарське виробництво.

Список використаних джерел

1. Дячук В. С., Кравчук О. М. Використання робототехніки в агропромисловому комплексі України // *Агроінженерія*. 2023. № 4. С. 45–51.
2. Добранський С. С., Бучко І. О. Аналіз застосування роботизованих засобів в агропромисловому комплексі України та світі // *Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції*. Рівне : НУВГП, 2025. С. 164–169.
3. Добранський С. С., Бучко І. О. Застосування роботизованих засобів в агропромисловому комплексі України та світу // *Вісник Житомирського агротехнічного фахового коледжу*. 2025. Вип. 6(1). С. 5–18.
4. Добранський С. С. Застосування роботизованих засобів як новий етап трансформації в агропромисловому комплексі України // *Стратегічні напрямки розвитку науки, освіти та суспільства : збірник матеріалів Всеукраїнської науково-практичної конференції*. Ніжин : ВСП «Ніжинський фаховий коледж НУБіП України», 2025. С. 135–138.
5. Bergman J., Lundstrom P. Robotics and Artificial Intelligence in Agriculture // *Journal of Agricultural Technologies*. 2023. Vol. 15. P. 112–118.
6. Kumar R., Chen L. Smart Farming and Agricultural Robotics // *International Journal of Precision Agriculture*. 2024. Vol. 11. P. 75–84.
7. Закон України «Про інноваційну діяльність» від 04.07.2002 № 40-IV.
8. FAO. Digital Technologies in Agriculture and Rural Areas. Rome, 2023.



Зубко В.М.,

доктор техн. наук, професор, професор
кафедри механічної та електричної інженерії,
e-mail: vladyslav.zubko@pdau.edu.ua

Сидорчук Ю.В.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: yurii.sydorчук@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ПИТОМИЙ ОПІР ДИСКОВОЇ БОРОНИ ТА БУКСУВАННЯ КОЛІСНОГО ТРАКТОРА

Аналіз літературних джерел, опитування парцівників аграрного сектору, проведення власних польових досліджень свідчить, що одним ключових параметрів енергомосткості обробітку ґрунту є питомий опір машини. Його традиційне оцінювання шляхом польового динамометрування є тривалим і затретним процесом, також не дає потрібної точності за рахунок неможливості оцінити всі точки поля і надати статистично вірний результат. Відповідно це ускладнює ефективне агрегування машинно-тракторних агрегатів [1, 2].

Ключовим негативним чинником під час роботи дискових машинних агрегатів є надмірне буксування колісних рушіїв, яке призводить до інтенсивного руйнування структури ґрунту, ерозії його родючого шару та перевитрати палива технікою [3-5]. Для упередження буксування та вибору раціонального швидкісного режиму машинного агрегату необхідне точно прогнозувати тяговий опір машини.

Метою нашого дослідження є мінімізація буксування машинного агрегату Claas Axion 930 + Lemken Rubin 10 шляхом встановлення його кількісного зв'язку з тяговим опором знаряддя та твердістю ґрунту в польових умовах.

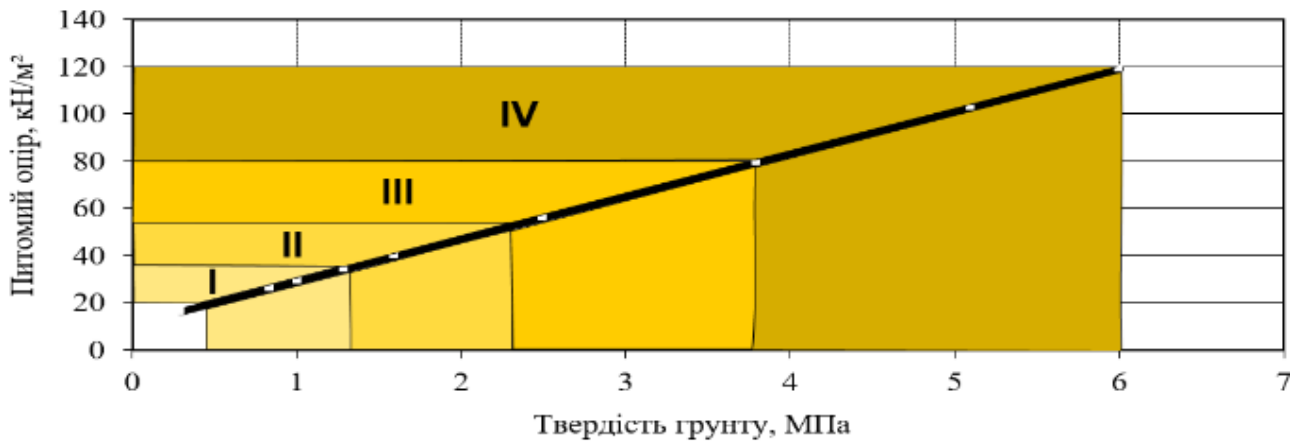
Аналіз літературних джерел показує, що прогнозування динаміки буксування колісних рушіїв базується на точній оцінці тягового опору машин. Стандарт ASABE EP542 [1] регламентує розрахунок питомого опору як відношення тягового зусилля до площі поперечного перерізу обробленого шару. Цей показник є головним чинником, що формує необхідну силу тяги на гаку та визначає схильність трактора до буксування під навантаженням.

Як довів Godwin [2], геометрія дискового робочого визначає форму поперечного перерізу борозни. Необроблена геометрія дисків має вплив на тяговий опір, провокуючи перевищення критичної межі буксування шин. Цей ефект посилюється з ростом темпу роботи. За умови обмеженого зчеплення рушіїв з агрофоном таке інерційне зростання навантаження трансформує корисну роботу у катастрофічне проковзування коліс.

Водночас стан самого ґрунтового середовища виступає ключовим показником контакту рушіїв з ґрунтом і формує коефіцієнт зчеплення та опір

перекочування. Для моделювання цих процесів Roul та ін. [4] застосували штучні нейронні мережі. Вони довели, твердість ґрунту є більш стабільним вхідним параметром для прогнозування буксування агрегату, ніж стандартна щільність.

У своїх роботах проф. Зубко В.М. обґрунтував залежність між питомим опором ґрунту та його твердістю, що представлено на рис. 1 [6].



I – легкі ґрунти; II – середні ґрунти; III – важкі ґрунти; IV – дуже важкі ґрунти.

Рисунок 1 – Залежність між твердістю та питомим опором ґрунту

Водночас слід розуміти, що на питомий опір агромашини має істотний вплив не лише твердість ґрунту, а й глибина обробітки і наявність рослинних рештків на його поверхні. Обґрунтування значення питомого опору машинного агрегату є комплексний показник. Неправильне визначення опору машинного агрегату має вплив на показник буксування і, як наслідок, на переущільнення ґрунту та врожайність агрокультури. Тому, розглядаючи ефективність експлуатації машинних агрегатів, слід оперувати значенням буксування.

Розглянемо зміну значення показника буксування при різній глибині обробітки прт проведенні дискування агрегатом трактор Claas Axion 930 + Lemken Rubin 10 (ширина захвату 600 см, кількість дисків 48, діаметр диску 64,5 мм), кут атаки 10 град., твердість ґрунту $T = 4$ МПа, рослинні рештки на поверхні відсутні. Результати проведених досліджень наведено на рис. 2.

Аналіз рис. 2 позує, що глибина обробітки має суттєвий вплив і чітку закономірність на буксування рушіїв енергетичного засобу. Встановлено, що при глибині обробітки від 5 до 10 см значення буксування знаходиться в робочих межах для швидкості в діапазоні від 5 до 15 км/год. Водночас збільшення глибини обробітки до 15 см обмежує робочу швидкість до 12 км/год, при якій буксування зростає до 19%. При цьому при глибині обробітки 20 см збільшує буксування і обмежує робочу швидкість до 10 км/год. Встановлено, що при збільшенні глибини обробітки від 5 до 20 см характер зміни значення буксування різний. Аналіз значення показника буксування при швидкості 5 км/год показує, що при збільшенні глибини до 10 см значення буксування зросло на 11,95%, при збільшенні до 15 см – на 23%, а при глибині 20 см – збільшилось на 40,12% у порівнянні з глибиною обробітки 5 см. Аналіз значення показника буксування

при швидкості 10 км/год показує, що при збільшенні глибини до 10 см значення буксування зросло на 14,25%, при збільшенні до 15 см – на 29,60%, а при глибині 20 см – збільшилось на 55,13% у порівнянні з глибиною обробітку 10 см.

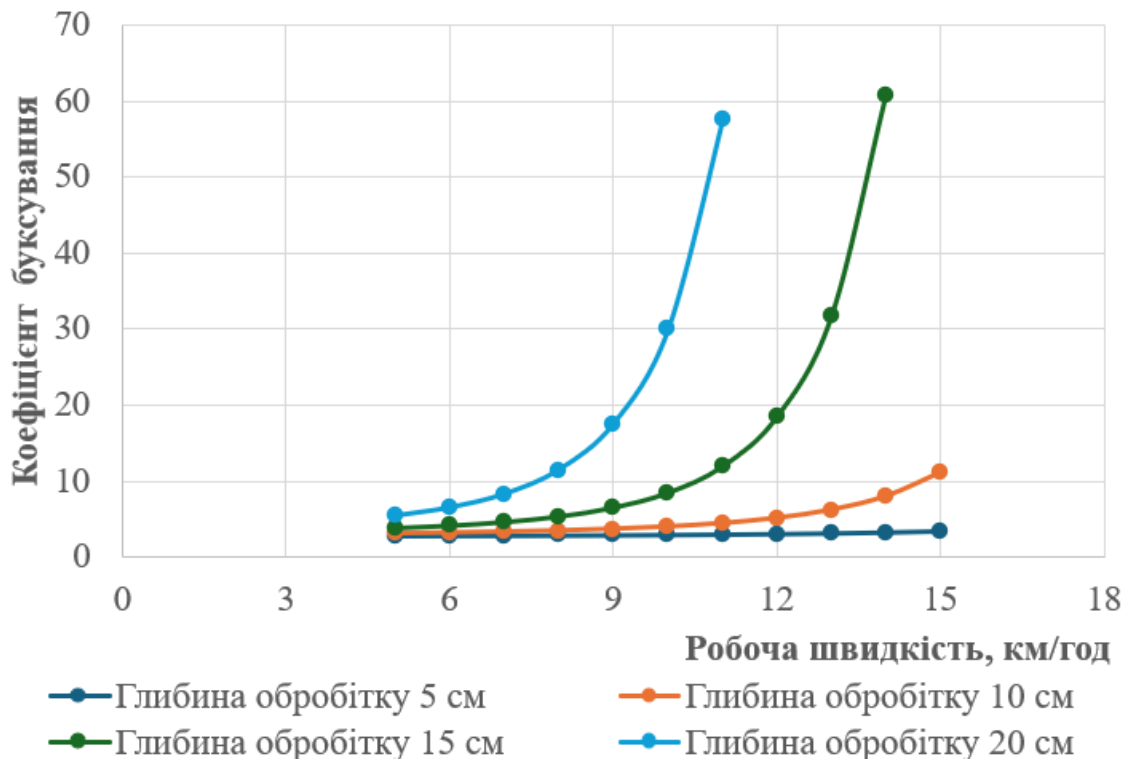


Рисунок 2 – Значення показника буксування в залежності від глибини обробітку

Отримані результати досліджень є додатковою інформацією для аграрного виробництва і можуть використовуватись як аграріями при комплектуванні машинних агрегатів для виконання робіт з обробітку ґрунту, так і конструкторськими бюро при проектування аграрної техніки. Також відповідна інформація може бути використанні в навчальному процесі при підготовці агроінженера. Відповідні дані характеризують техніко-експлуатаційні параметри роботи машинних агрегатів, вказують на нелінійний характер змін значень при зміні глибини і робочої швидкості, що направлено на формування фахових компетентностей здобувачів освіти.

Список використаних джерел

1. ASABE EP542.4 FEB1999 (R2024). Terminology and Definitions for Agricultural Tillage Implements. St. Joseph, MI : ASABE, 2013. 7 p.
2. Godwin R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97, No. 2. P. 331–340. DOI: 10.1016/j.still.2007.09.010.

3. Wheeler P. N., Godwin R. J. Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1996. Vol. 63, No. 3. P. 243–250. DOI: 10.1006/jaer.1996.0028.

4. Roul A. K., Raheman H., Pansare M. V., Machavaram R. Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network. *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 104, No. 4. P. 476–485. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.08.003.

5. ASABE D497.7 MAR2011 (R2015). Agricultural Machinery Management Data. St. Joseph, MI : ASABE, 2015. 16 p.

6. Зубко В. М. Концепція забезпечення якості механізованих агротехнологій : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021. 393 с.



Хворост Т.В.,

канд. економ. наук, доцент, доцент
кафедри вищої математики та фізики
e-mail: tetiana.khvorost@snaeu.edu.ua

Омельченко Є.М.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: evgeniy.mh.omelchenko@gmail.com
*Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна*

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ПЛАНУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ АГРАРНОГО ВИРОБНИЦТВА

Забезпечення експлуатаційної надійності енергетичних засобів в аграрному виробництві є одним із ключових інженерних задач. Ефективність функціонування аграрної техніки безпосередньо корелює з якістю та стратегією їх технічного обслуговування і ремонту. Сучасні тенденції розвитку конструкцій машин характеризуються інтенсивним ускладненням кінематичних схем, інтеграцією високоточних гідрофікованих, мехатронних та електронних систем. Це висуває суворіші вимоги до систем керування технічним станом парку машин. Оптимізація планування ТО спрямована на мінімізацію параметрів відмов, запобігання аварійним простоям у пікові періоди польових робіт та зниження питомих експлуатаційних витрат.

У сучасній інженерній практиці сформувався комплекс підходів до формування регламенту профілактичних та сервісних робіт. Кожен із чинних методів базується на специфічних математичних, статистичних або емпіричних моделях експлуатації елементів конструкції машин і має власну критеріальну базу, переваги та конструктивно-експлуатаційні обмеження.

Найчастіше використовується календарний метод, критеріальною базою якого виступає фіксований часовий інтервал. Головними інженерними перевагами цього підходу є висока визначеність етапів обслуговування, спрощення планування матеріально-технічного постачання та чіткість логістичного забезпечення процесу. Проте календарне планування характеризується низькою адаптивністю, оскільки воно не враховує реальні експлуатаційні навантаження на агрегати. Це створює суттєвий ризик недовикористання індивідуального ресурсу деталей або призводить до невиправданих економічних витрат при низькій інтенсивності експлуатації МА.

Більш раціональним є метод планування за фактичним напрацюванням, де базовим критерієм виступає еквівалентний обсяг виконаної роботи, виражений у мото-годинах, кілометрах пробігу або гектарах обробленої площі. Цей підхід забезпечує краще співвідношення з інтегральним часом роботи вузлів та механізмів, дозволяючи точніше розподіляти сервісні ресурси на основі рекомендацій заводів-виробників. Водночас метод за напрацюванням не здатний

повноцінно врахувати раптові стохастичні процеси зношування, що виникають через роботу техніки в екстремальних умовах (наприклад, підвищена запиленість чи екстремальні температурні режими), а також вимагає ведення безперервного й точного індивідуального обліку роботи кожної одиниці техніки.

Науково обґрунтованим кроком у розвитку систем підтримки роботоздатності є метод технічного діагностування, який реалізує принцип обслуговування за фактичним станом. Показник, за яким приймається рішення, фактичний стан системи, що визначається за допомогою контролю фізичних параметрів: спектрального аналізу мастильних матеріалів, віброакустичних характеристик, теплових полів або тиску в гідросистемах. Інженерна перевага методу полягає в усуненні непотрібних регламентних робіт і локалізації дефектів на ранніх стадіях їхнього розвитку. Основним обмеженням підходу є необхідність значних першочергових інвестицій у складне діагностичне обладнання, спеціалізоване програмне забезпечення, а також високі вимоги до інженерної кваліфікації обслуговуючого персоналу.

Найвищим рівнем цифровізації відзначається метод прогнозування стану, що спирається на розрахунок залишкового ресурсу конструктивних елементів. Він базується на математичному моделюванні трендів зміни властивості матеріалів із використанням великих масивів історичних даних про ремонти, умови експлуатації та поточні навантаження. Його застосування мінімізує ймовірність раптових відмов та оптимізує міжремонтні інтервали. Проте впровадження прогностичних моделей у галузевому машинобудуванні супроводжується труднощами через високу чутливість алгоритмів до повноти та достовірності вхідних даних, а також потребує розгортання сучасних цифрових платформ.

Прагнення нівелювати недоліки окремих підходів зумовило появу методу комбінованого обслуговування. Він поєднує елементи попередніх стратегій, забезпечуючи максимальну гнучкість управління сервісними операціями та зниження коефіцієнта простою техніки. Головним обмеженням комбінованого підходу є суттєве ускладнення алгоритмів менеджменту ТО та необхідність побудови розвиненої інформаційної інфраструктури моніторингу на підприємстві.

Прямий перехід до високих прогнозованих технологій у вітчизняному АПК наразі стримується високою вартістю бортових засобів діагностування та недостатньою адаптацією чинних математичних моделей зносу до специфічних умов роботи аграрної техніки, таких як тривалий вплив абразивного середовища та знакозмінні динамічні навантаження. Перспективним науковим напрямом є розробка інтегрованих систем, які поєднують експрес-моніторинг стану робочих рідин та вузлів тертя з прогнозуючими математичними моделями накопичення втомних пошкоджень у базових деталях машин. Впровадження сучасних інструментів телеметрії, датчиків віброприскорення та систем дистанційного моніторингу дозволяє трансформувати дискретні графіки ТО у безперервні адаптивні системи керування надійністю. Це забезпечує стабілізацію динамічних

характеристик МТА, підвищення коефіцієнта технічного використання та суттєве зменшення витрат на ремонт.

Таким чином, вибір оптимальної стратегії планування ТО є складним багатокритеріальним інженерним завданням. Для сучасного етапу розвитку галузевого машинобудування в АПК найбільш доцільним є поступовий перехід від жорсткокалендарних графіків до гнучких комбінованих систем керування надійністю машин на основі прогнозової аналітики, телеметричного контролю та оцінки фактичного стану трибоспряжень.

Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Пастухов В. І. Обґрунтування стратегії технічного сервісу машинно-тракторного парку за фактичним станом. *Трактори і сільськогосподарські машини*. 2019. № 4. С. 34–41.
2. Лівіцький О. М. Вдосконалення технічного сервісу автотракторної техніки в умовах агропромислового виробництва. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2021. Вип. 4 (35). С. 189–197.



Зубко В.М.,

доктор техн. наук, професор, професор
кафедри механічної та електричної інженерії,
e-mail: vladyslav.zubko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

Тесленко О.В.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: olena.vl.teslenko@gmail.com

*Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна*

ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ПИТОМИЙ ОПІР ДИСКОВОЇ БОРОНИ

Одним із ключових параметрів, що визначає енергоємність ґрунтообробних операцій, є питомий опір знаряддя. Класичний метод його визначення – польове динамометрування – потребує спеціалізованого обладнання, тривалого часу та значних витрат, що суттєво обмежує оперативність прийняття рішень при комплектуванні машинних агрегатів [1, 2]. Водночас твердість ґрунту, що вимірюється пенетрометром – простим і доступним приладом – є інтегральним показником його фізико-механічних властивостей і корелює з тяговим опором ґрунтообробних машин [3].

Дискові борони широко застосовуються у сучасному землеробстві для поверхневого обробітку ґрунту та загортання рослинних решток. Точне прогнозування їх тягового опору є необхідним для обґрунтування тягового класу трактора, вибору оптимального швидкісного режиму [4, 5].

Метою даної роботи є встановлення кількісного зв'язку між твердістю ґрунту, питомим опором дискової борони Lemken Rubin 10 у складі агрегату з трактором Claas Axion 930 в умовах типового агрофону Сумської області.

Питання прогнозування тягового опору ґрунтообробних машин досліджується світовою науковою спільнотою упродовж тривалого часу. У стандарті ASABE EP542 [1] систематизовано термінологію і базові методи визначення параметрів ґрунтообробних знарядь, зокрема поняття питомого опору як відношення тягового зусилля до площі поперечного перерізу обробленого шару ґрунту.

Godwin [2] у своєму огляді показав, що геометрія робочого органу (кут атаки, кут загострення, радіус кривизни) суттєво впливає на характер руйнування ґрунту і, відповідно, на тяговий опір. Встановлено, що для дискових робочих органів форма поперечного перерізу борозни відрізняється від прямокутної, що вимагає введення коефіцієнта форми при розрахунку питомого опору.

Sahu and Raheman [3] провели серію лабораторних досліджень із знаряддями різного типу в піщано-суглинковому ґрунті та встановили значний вплив Cone Index (CI) (твердість ґрунту), на тяговий опір: зі зростанням CI

питомий опір зняряддя збільшується практично лінійно. Автори запропонували регресійні рівняння, що пов'язують CI з тяговим опором для різних типів робочих органів.

Wheeler and Godwin [4] дослідили вплив робочої швидкості на питомий опір одиночних і групових робочих органів при швидкостях до 20 км/год. Встановлено, що приріст опору від швидкості є нелінійним і залежить від ширини робочого органу та глибини обробітку. Їхні результати підтвердили, що при швидкостях нижче 5 км/год інерційні ефекти є незначними, а при вищих – зростання опору набуває квадратичного характеру.

Roul et al. [5] застосували штучні нейронні мережі для прогнозування тягового опору знярядь у різних ґрунтових умовах. Серед вхідних параметрів вагомими виявились швидкість руху, глибина обробітку та вологість ґрунту. Автори відзначили, що конусний індекс є більш стабільним і відтворюваним показником стану ґрунту порівняно зі щільністю, визначеною методом ріжучого кільця.

Стандарт ASABE D497.7 [6] містить нормативні значення тягового опору для широкого класу ґрунтообробних машин залежно від типу ґрунту (легкий, середній, важкий), і рекомендує враховувати наявність рослинних решток як самостійний фактор. Відзначається, що мінливість тягового опору навколо середнього значення може досягати 50%, що унеможливорює застосування універсальних моделей без урахування місцевих умов.

У вітчизняній практиці зв'язок між твердістю ґрунту та його питомим опором описується лінійною залежністю виду $k_{0a} = 18 \cdot T + 11$ (кН/м²), де T – твердість ґрунту в МПа [6]. Це дозволяє замінити дорогу процедуру польового динамометрування оперативним вимірюванням твердості ґрунту пенетрометром безпосередньо на полі.

Польові дослідження проводилися на базі Інституту сільського господарства Північного Сходу НААН. Для вимірювання твердості ґрунту застосовували пенетрометр "ЛАН-М" на глибині 0-10, 10-20, 20-30 см. Вологість ґрунту визначали термостатно-ваговим методом, щільність – методом ріжучого кільця. Статистичний аналіз підтвердив достовірність вимірювань – коефіцієнт варіації основних показників не перевищував 7%.

Як об'єкт дослідження обрано машинний агрегат: трактор Claas Axion 930 та дискова борона Lemken Rubin 10 (ширина захвату 600 см, кількість дисків 48, діаметр диску 64,5 мм). Питомий опір машини розраховували за уніфікованою моделлю [6], що враховує твердість ґрунту, форму робочого органу (коефіцієнт $c = 0,67$ для дискового органу при куті атаки 10°), матеріал (λ) та наявність рослинних решток (z). Буксування визначали за залежністю від відношення тягового опору агрегату до максимального зчіпного зусилля трактора.

За результатами вимірювань встановлено, що твердість ґрунту зростає з глибиною: 1,38 МПа (0-10 см), 1,51 МПа (10-20 см), 2,41 МПа (20-30 см), що відповідає питомому опору ґрунту 35,84; 38,18 та 54,38 кН/м² відповідно. Різке збільшення твердості на глибині 20-30 см (на 59,6% порівняно з глибиною 10-20

см) пояснюється ущільненням підорного ґрунту та зменшенням вмісту органічних решток.

Розрахунок питомого опору дискової борони Lemken Rubin 10 при глибині обробітку 10 см і робочих швидкостях 5-14 км/год показав, що тяговий опір агрегату зростає з 30,6 кН (5 км/год) до 49,7 кН (14 км/год). При цьому буксування колісного трактора Claas Axion 930 перебувало в межах оптимального діапазону 8-12% при швидкостях 5-12 км/год. При підвищенні швидкості понад 13 км/год буксування перевищувало граничне значення 15%, що є неприпустимим з агрономічної точки зору.

Встановлено, що при збільшенні твердості ґрунту з 1,38 до 2,41 МПа (при переході від обробітку шару 0-10 до 20-30 см) питомий опір знаряддя зростає на 34,2%, що потребує або зменшення робочої швидкості, або зменшення ширини захвату борони для утримання буксування у допустимих межах. Отримані результати підтверджують доцільність оперативного вимірювання твердості ґрунту пенетрометром як альтернативи польовому динамометруванню.

Список використаних джерел

1. ASABE EP542.4 FEB1999 (R2024). Terminology and Definitions for Agricultural Tillage Implements. St. Joseph, MI : ASABE, 2013. 7 p.
2. Godwin R. J. A review of the effect of implement geometry on soil failure and implement forces. *Soil and Tillage Research*. 2007. Vol. 97, No. 2. P. 331–340. DOI: 10.1016/j.still.2007.09.010.
3. Sahu R. K., Raheman H. Draught prediction of agricultural implements using reference tillage tools in sandy clay loam soil. *Biosystems Engineering*. 2006. Vol. 4, No. 2. P. 275–284. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2006.03.007.
4. Wheeler P. N., Godwin R. J. Soil dynamics of single and multiple tines at speeds up to 20 km/h. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1996. Vol. 63, No. 3. P. 243–250. DOI: 10.1006/jaer.1996.0028.
5. Roul A. K., Raheman H., Pansare M. V., Machavaram R. Predicting the draught requirement of tillage implements in sandy clay loam soil using an artificial neural network. *Biosystems Engineering*. 2009. Vol. 104, No. 4. P. 476–485. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2009.08.003.
6. Зубко В. М. Концепція забезпечення якості механізованих агротехнологій : дис. ... д-ра техн. наук : 05.05.11 / Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021. 393 с.



Хворост Т.В.,

канд. економ. наук, доцент, доцент
кафедри вищої математики та фізики
e-mail: tetiana.khvorost@snaeu.edu.ua

Суханов О.О.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: o.sukhanov@i.ua

*Сумський національний аграрний університет,
м. Суми, Україна*

АНАЛІЗ ЯКОСТІ МОТОРНОЇ ОЛИВИ – ІНДИКАТОР ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ТА МАРКЕР ЗНОСУ ДЕТАЛЕЙ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Надійність та довговічність двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) залежать від ефективності функціонування триботехнічної системи. Моторна олива в процесі експлуатації піддається високим термічним, механічним та хімічним навантаженням, що призводить до зміни її властивостей. Водночас різне навантаження роботи агротехніки формує різний ступінь зношення оливи. Технічне обслуговування аграрної техніки необхідно переводити від регламентного сервісу (за напрацюванням мото-годин або кілометражу) до обслуговування за фактичним технічним станом. Комплексний аналіз якості моторної оливи виступає як один із найбільш інформативних методів безрозбірної діагностики ДВЗ.

Ідентифікація та кількісний аналіз механічних домішок у відпрацьованій оливі дозволяють локалізувати дефекти на ранніх стадіях їх виникнення:

– залізо (Fe): свідчить про знос циліндрових гільз, розподільчих та колінчастих валів, зубчастих передач;

– мідь (Cu), свинець (Pb), олово (Sn): є прямим індикатором зносу антифрикційного шару підшипників ковзання (вкладишів);

– хром (Cr): вказує на знос поршневих кілець, а в окремих випадках – клапанів ДВЗ;

– алюміній (Al): пов'язаний із руйнуванням або підвищеним тертям тіла поршнів чи елементів турбокомпресора.

Застосування методів атомно-емісійної спектроскопії та ферографії дозволяє оцінити не лише концентрацію (ppm), але й морфологію (форму та розмір) частинок зносу. Це дає можливість диференціювати нормальний (припрацювальний) знос від аварійного (катастрофічного), запобігаючи раптовим відмовам техніки.

Визначення залишкового ресурсу оливи базується на кінетиці зміни її ключових фізико-хімічних параметрів. Основними критеріями, що лімітують працездатність мастильного матеріалу, є:

1. Кінематична в'язкість (при 40 °С та 100 °С). Зниження в'язкості свідчить про розрідження оливи паливом (через несправність паливної апаратури), а підвищення – про інтенсивне окиснення, полімеризацію та накопичення сажі.

2. **Лужне (TBN) та кислотне (TAN) числа.** Співвідношення цих параметрів є критичним. Зниження TBN відображає спрацювання мийно-диспергуючих присадок, а зростання TAN – накопичення кислих продуктів згоряння. Точка перетину їхніх трендів є математичним обґрунтуванням вичерпання ресурсу оливи.

3. **Температура спалаху у відкритому тиглі.** Різде зниження цього показника є маркером потрапляння палива в оливу, що суттєво знижує міцність масляної плівки.

Оцінка диспергуючої здатності оливи та вмісту нерозчинних осадів (сажа, шлам, продукти деструкції присадок) дозволяє контролювати стан масляного фільтра. Перевищення критичного рівня забрудненості призводить до відкриття перепускного клапана фільтра, внаслідок чого нефільтрована олива разом із накопиченим шламом потрапляє безпосередньо до вузлів тертя. Аналіз дисперсних характеристик забруднювачів методом "масляної плями" (крапельна проба) дає змогу чітко зафіксувати момент, коли фільтр втрачає свою поглинальну здатність і потребує негайної заміни разом із моторною оливою.

Таким чином, моніторинг якості моторної оливи є високоефективним інструментом аналітики ефективності роботи ДВЗ та показником для проведення технічного обслуговування. Він дозволяє вирішити наступні завдання:

по-перше, своєчасно виявити внутрішні деструктивні процеси та знос конкретних деталей двигуна до настання макроруйнувань;

по-друге, науково обґрунтувати та оптимізувати інтервали заміни оливи та фільтрів, мінімізуючи експлуатаційні витрати та запобігаючи передчасному виходу техніки з ладу.

Список використаних джерел

1. Delvecchio S., Bonfiglio P., Pompoli F. Vibro-acoustic condition monitoring of Internal Combustion Engines: A critical review of existing techniques. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2018. Vol. 99. P. 661–683. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2017.06.033>
2. Tabaszewski M., Szymański G. Engine valve clearance diagnostics based on vibration signals and machine learning methods. *Eksploracja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2020. Vol. 22 (2). P. 331–339. DOI: <https://doi.org/10.17531/ein.2020.2.16>



Плискін В. В.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: volodymyr.plyskin@st.pdau.edu.ua

Канівець О.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ МЕХАНІЗМУ АВТОКОЛИВАЛЬНОЇ ВІБРОУДАРНОЇ ВЗАЄМОДІЇ КУЛЬТИВАТОРНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ З ҐРУНТОМ

Підвищення енергетичної ефективності культиваторних агрегатів є одним із пріоритетних завдань сучасного землеробства. Традиційні жорсткі конструкції робочих органів культиваторів не забезпечують адаптації до мінливих фізико-механічних властивостей ґрунту, що призводить до нераціональних енерговитрат і незадовільної якості обробітку. Одним із перспективних шляхів вирішення даної задачі є застосування пружних стійок і механізмів із рухомими масами, що забезпечують виникнення автоколивальних резонансних режимів взаємодії лапи з ґрунтом.

Під час руху культиватора культиваторна лапа із пружною стійкою здійснює коливальний рух зі змінною частотою під дією змінного опору ґрунту у періодичних фазах стискання та розривання ґрунтових грудок [1]. Характер такої взаємодії визначається фізико-механічними властивостями ґрунту та конструктивними параметрами робочого органу. Для забезпечення стійкого авторезонансного режиму до конструктивної схеми культиваторного робочого органу пропонується включити механізм із двома рухомими масами, розділеними пружними елементами різної жорсткості [2].

Для аналізу динаміки запропонованої системи використано апарат аналітичної механіки. Узагальненими координатами вибрано вертикальні зміщення мас m_1 і m_2 із положення рівноваги. У такому випадку кінетична і потенційна енергії системи визначаються через жорсткості λ_1 і λ_2 нижнього та верхнього пружних елементів відповідно [3]. На основі рівнянь Лагранжа другого роду отримано аналітичні вирази для визначення частот головних коливань нижньої та верхньої рухомих мас.

Чисельне розв'язання отриманих виразів з урахуванням мінімального та максимального деформаційного показника ґрунту дозволило встановити оптимальні частоти коливань. Для нижньої рухомої маси оптимальна частота склала $k_1 = 6,6 \text{ с}^{-1}$, для верхньої – $k_2 = 14,7 \text{ с}^{-1}$. У системі з однією рухомою масою на пружному елементі жорсткістю λ_1 оптимальна частота становить $k = 8,5 \text{ с}^{-1}$. Отримані значення відповідають діапазону частот коливань, за якого відбувається інтенсифікація руйнування ґрунтових агрегатів.

Жорсткість пружних елементів λ_1 і λ_2 визначались через мінімальне та максимальне зусилля розпушування ґрунту, площу робочої поверхні лапи S та швидкості переміщення v_1 і v_2 відповідних мас. За умови виконання пружних елементів у вигляді гвинтових пружин кількість витків n_1 і n_2 розраховувались через модуль зсуву матеріалу G , діаметр прутка d і середній діаметр пружини D . Така методика розрахунку дозволяє проектувати пружні елементи з наперед заданими частотними характеристиками, що є критично важливим для досягнення авторезонансного режиму роботи.

Запропонований підхід до визначення параметрів механізму охоплює два конструктивні варіанти: систему з двома рухомими масами та спрощену конструкцію з однією масою. Аналіз показав, що обидва варіанти здатні забезпечити стійкий коливальний режим, близький до резонансного, за якого досягається максимальна інтенсивність руйнування ґрунту при мінімальному тяговому опорі робочого органу. Система з двома масами демонструє ширший діапазон частотного регулювання та дозволяє адаптуватися до різних типів ґрунту.

Розроблена математична модель та методика параметричної оптимізації механізму автоколивальної віброударної взаємодії культиваторного робочого органу з ґрунтом дозволяють визначити раціональні значення мас і жорсткостей пружних елементів для досягнення авторезонансного режиму роботи. Встановлено, що отримані конструктивно-параметричні характеристики забезпечують виникнення стійкого резонансного коливального режиму в системах як з двома, так і з однією рухомою масою. Запропоновані рішення складають теоретичну основу для проектування енергоощадних культиваторних робочих органів із керованими автоколивальними режимами, що забезпечує підвищення якості обробітку ґрунту та зниження питомих енерговитрат технологічного процесу.

Список використаних джерел

1. Войтюк Д. Г., Барановський В. М., Булгаков В. М. Сільськогосподарські машини. Основи теорії та розрахунку : підручник / за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Вища освіта, 2005. 464 с.
2. Qiu Y., Guo Z., Yan X., Wang J., Zhang Y., Zhang P., Zhang F. Self-Excited-Resonance of Soil-Engaging Surface Spectrum: A New Method of Soil Cutting Resistance Reduction // Agriculture. 2023. Vol. 13, № 6. P. 1154. <https://doi.org/10.3390/agriculture13061154>.
3. Guo Z., Qiu Y., Yan X., Wang J., Si S., Guo F., Zhang F. Research on the Resistance Reduction Law of Self-Excited Resonant Circular Arc-Surface Bulldozing Plate Based on the Discrete Element Method // MDPI Agriculture. 2023. Vol. 13, № 10. P. 1880. <https://doi.org/10.3390/agriculture13101880>.



Fedyshyn B. M.

pHd, assistant professor of the department of construction machinery
e-mail: fedyshyn_bm@knuba.edu.ua

Sliusar V.S.

pHd, assistant professor of the department of construction machinery
e-mail: sliusar.vs@knuba.edu.ua

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

ANALYSIS OF VIBRATION CLEANING OF WORKING ELEMENTS OF CONSTRUCTION MACHINERY IN A WIDE FREQUENCY RANGE

Modern construction machinery operates under conditions of intensive mechanical loading and continuous contact with soils, concrete mixes, loose, and wet materials. During operation, excavator buckets, bulldozer blades, front-loader buckets, hoppers, augers, feeders, dump-truck beds, and sides are subject to significant material adhesion to metal surfaces. This phenomenon is especially pronounced when working with wet clayey soils, frozen ground, and concrete mixes, which have high adhesive properties [1, 2].

Material adhesion reduces the useful volume of working elements, increases energy consumption, impairs the unloading process, and accelerates wear of structural components [3]. Accordingly, a key direction in the development of modern construction machinery is the introduction of vibration-cleaning systems capable of operating effectively across a wide frequency range — from low-frequency mechanical oscillations to high-frequency and ultrasonic systems [4].

During construction and road works, layers of soil, clay, concrete mixes, and other materials accumulate on working-element surfaces, degrading the performance characteristics of the machinery. Excavator buckets experience a reduction in actual capacity and difficulty during unloading. Dump-truck beds exhibit incomplete discharge of material, while hoppers and conveying systems suffer from uneven feed of mixes [2, 5].

Conventional mechanical cleaning methods do not provide sufficient effectiveness and frequently require stopping the technological process. It is therefore necessary to employ wide-range vibration systems that can simultaneously clean surfaces and improve the operating efficiency of construction machinery [1, 6].

The objective of this work is to review wide-range vibration cleaning of the working elements of construction machinery and to analyse the effectiveness of different vibration types in the cleaning and execution of technological processes.

The operating principle of vibration cleaning is based on transmitting oscillatory energy to the surface of a working element, thereby destroying the contact layer between the metal and the adhered material. Under the action of oscillations, friction forces are reduced, structural bonds within the soil mass are disrupted, and conditions are created for the separation of material particles from the surface [1, 2].

The oscillatory process is described by the harmonic relationship:

$$x(t) = A \sin(\omega t) \quad (1)$$

where:

A — vibration amplitude;

ω — angular frequency;

t — time.

The angular frequency is determined by the expression:

$$\omega = 2\pi f \quad (2)$$

where f is the oscillation frequency.

Wide-range cleaning systems employ different frequency modes depending on the type of material and the operating conditions of the machine. Low-frequency vibrations in the range $f = 10\text{--}100$ Hz provide large vibration amplitudes and effective mechanical destruction of the adhered material layer [1]. Such systems are most commonly used for cleaning excavator buckets, dump-truck beds, and hoppers.

During earthmoving operations, low-frequency vibrations also positively affect the soil-cutting process. Oscillations of the working element promote loosening of the soil mass, reduction of the friction coefficient, and disruption of internal bonds in the soil [6]. As a result, the cutting force decreases and the load on the hydraulic system is reduced, allowing higher work rates and lower energy consumption.

High-frequency mechanical oscillations operate in the approximate range $f = 100\text{--}20\,000$ Hz and are characterised by smaller amplitude but greater intensity of local surface impact [4]. Such vibrations more effectively break adhesive bonds between material particles and the metal surface, and are particularly efficient for cleaning metal surfaces of fine-dispersed materials, dust, and concrete residues [7, 8, 9].

A promising development direction is the use of ultrasonic cleaning systems operating at frequencies above $f > 20$ kHz.

Ultrasonic oscillations generate micro-vibrations that promote destruction of the contact layer between the material and the surface. In liquid media, the cavitation phenomenon additionally occurs — the formation and collapse of micro-bubbles — which intensifies surface cleaning [7, 10]. Ultrasonic systems provide high cleaning quality and minimal mechanical surface wear; however, their application in construction machinery is currently limited by the high cost of the equipment and the difficulty of operation in demanding field conditions.

Table 1 – Comparative characteristics of vibration-cleaning frequency modes

Parameter	LF (10–95 Hz)	HF (100–20 000 Hz)	US (> 20 kHz)
Vibration amplitude	High	Medium	Low
Local impact intensity	Low	Medium	High
Design complexity	Simple	Medium	Complex
Suitability for field use	High	Medium	Limited
System cost	Low	Medium	High
Typical applications	Buckets, truck beds, hoppers	Metal surfaces, concrete residues	Specialised installations

Beyond cleaning, wide-range vibration systems can be used to improve the efficiency of technological processes. For conveying systems, vibrations ensure uniform material flow and prevent blockages in hoppers and feeders [3]. In road-construction machinery, vibrations promote material compaction and stabilise the motion of working elements.

Alongside the positive effects, it is necessary to account for the possible occurrence of additional dynamic loads, resonance operating modes, and fatigue failure of metal structures [5]. Consequently, the correct selection of the frequency, amplitude, and operating mode of the vibration exciter is critical at the design stage.

The review has established that wide-range vibration cleaning is a promising direction for improving the efficiency of construction machinery. The application of vibrations across different frequency ranges makes it possible not only to clean working elements of adhered material, but also to enhance excavation, transportation, and unloading processes.

Low-frequency cleaning systems are currently the most widespread in construction machinery, characterised by simple design and high effectiveness. High-frequency and ultrasonic systems have significant potential for further development, particularly in specialised automated cleaning complexes.

Further research should be directed towards creating adaptive wide-range vibration control systems capable of automatically varying oscillation parameters depending on the material type and the operating conditions of the construction machinery.

References

1. Iskovych-Lototskyi R. D., Obertiukh R. R., Ivanchuk Ya. V. *Vibratsiinyi vysokochastotnyi prystriy dlya rozvantzheniya i ochyshchennia kuzoviv avtomobiliv-samoskydiv*. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/1832>
2. Iskovych-Lototskyi R. D., Obertiukh R. R., Sevostianov I. V. *Protsesy ta mashyny vibratsiinykh i vibroudarnykh tekhnolohii*. Vinnytsia: VNTU, 2006. URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/handle/123456789/15303>
3. Dudnikov A. A., Dudnyk V. V., Horbenko O. V. *Vibratsiini tekhnolohii pry vidnovlenni robochykh orhaniv silskohospodarskykh mashyn // Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*. 2021. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/items/2209533e-eabc-4932-b3b1-503f42ed6da1>
4. Havryliuk I. A., Ilichov I. P., Khandola Yu. M. *Vyznachennia parametriv rehuliovanoho elektropryvody vibriuiuchykh robochykh orhaniv gruntoobrobnykh mashyn // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2010. DOI: 10.15587/1729-4061.2010.5791
5. Diedov O. P. *Stvorennia enerhoohadnykh vibroshchilniuiuchykh mashyn budivelnoi industrii: dys. ... d-ra tekhn. nauk*. KNUBA, 2019. URL: <https://uacademic.info/ua/document/0519U001769>
6. Ji X., Ren Y., Tang H. Analysis on vibration for a high-frequency electro-hydraulic cleaning system // *Advances in Mechanical Engineering*. 2018. DOI: 10.1177/1687814018811412.

7. Kim J., Kim Y. Vibroacoustic characteristics of ultrasonic cleaners // *Applied Acoustics*. 1999. DOI: 10.1016/S0003-682X(98)00039-5.
8. Li C., Chen R., Gao D. Research on Effects of Dust Removal Using Ultrasonic Vibrators // *Micromachines*. 2022. DOI: 10.3390/mi13122155.
9. Ragulskis K. et al. Vibrational method of cleaning of surfaces from homogeneous waste materials // *Journal of Vibroengineering*. 2017.
10. Abubakar A. A. et al. Environmental dust repelling from hydrophobic and hydrophilic surfaces under vibrational excitation // *Scientific Reports*. 2020.



Terentiev O. O.

Doctor of Technical Sciences, professor of the department of information technologies of design and applied mathematics, assistant professor of the department of construction machinery
e-mail: terentiev.oo@knuba.edu.ua

Gorbatyuk I.V.

pHd, associate professor of the department of construction machinery
e-mail: gorbatiuk.iev@knuba.edu.ua

Sliusar V.S.

pHd, assistant professor of the department of construction machinery
e-mail: sliusar.vs@knuba.edu.ua

*Kyiv National University of Construction and Architecture,
Kyiv, Ukraine*

INTEGRATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ENERGY SYSTEMS (SMART GRIDS) FOR OPTIMIZING RENEWABLE ENERGY MANAGEMENT

Modern global energy is undergoing a fundamental transformation driven by the need for decarbonization and the transition to sustainable development. The technological basis of this process is the deployment of Smart Grids, which replace the outdated centralized power supply model with a flexible, two-way system for exchanging energy and data. The Smart Grid concept involves the integration of traditional generation, renewable energy sources (RES), energy storage systems, and "smart" consumers into a single ecosystem. The digitalization of this sector allows for the implementation of "Internet of Energy" (IoE) principles, ensuring transparency and controllability at every stage — from generation to end use [1, 2].

The main challenge in the large-scale integration of renewable energy sources, such as solar and wind power plants, is their stochastic nature and direct dependence on weather conditions. This creates significant difficulties for real-time balancing of the power system, as periods of maximum generation often do not coincide with consumption peaks. Traditional methods of mathematical modeling and dispatch control often prove to be insufficiently fast and accurate to process the massive amounts of data (Big Data) generated by modern sensors and smart meters. The lack of intelligent tools for instantaneous forecasting and load redistribution leads to the inefficient use of energy storage and the risks of frequency destabilization in the grid [3].

The aim of the study is to analyze and systematize the functional capabilities of artificial intelligence algorithms within the Smart Grid architecture to stabilize power systems with distributed generation and improve the accuracy of short-term forecasting of energy flows.

Modern Smart Grid management has transformed into a problem of multi-parameter stochastic optimization in real time. For the efficient operation of a Microgrid, it is necessary to minimize total operational costs while meeting the

technical constraints of the grid. The objective function for the settlement period T is written as minimizing the cost of energy consumption and asset degradation [1, 4, 5]:

$$C_{total} = \sum_{t=1}^T [C_{grid}(t) \cdot P_{grid}(t) + C_{bat}(t) \cdot P_{bat}(t) - R_{res}(t) \cdot P_{res}(t)] \rightarrow \min$$

where $C_{grid}(t)$ is the dynamic electricity tariff; $P_{grid}(t)$ is the power purchased or sold to the main grid $C_{bat}(t)$ is the cost function of storage wear; $R_{res}(t)$ and $P_{res}(t)$ are the profit and generation volume from RES.

Solving this problem using traditional methods is complicated by the unpredictability of $P_{res}(t)$ and demand volatility. The implementation of AI allows the system to be adapted in three critical areas:

1. Predictive analytics and forecasting (Forecasting). The use of recurrent neural networks with an LSTM architecture makes it possible to identify long-term and short-term patterns in meteorological data (insolation, wind speed) and historical load profiles. Such models provide accuracy in forecasting solar and wind generation at the level of 95–98% for a daily planning horizon – which is critically higher than the accuracy of classical ARIMA autoregressive models [1, 4].

2. Intelligent demand management (Demand Response). RL agents (specifically based on DDPG and Q-learning) learn to shift the load of energy-intensive systems (industrial cooling, EV charging) to times of low tariffs and excess RES generation. Verified data confirm a reduction in peak loads and system operational costs by 15–20% compared to scenarios without intelligent control [3, 6, 7].

3. Predictive maintenance and self-healing. The analysis of the spectral characteristics of current and vibration signals using convolutional neural networks (CNNs) enables the detection of insulation defects or transformer overheating at early stages. In the event of an accident, the algorithms instantly isolate the damaged section and reconfigure the grid topology through alternative nodes [8, 9].

Table 1 – Comparative analysis of AI algorithms for optimizing Smart Grid operations

AI Algorithm Class	Optimization Task	Efficiency (according to [4, 8, 10])	Latency
LSTM / GRU	RES Forecasting	Forecast accuracy 95–98%	Minutes
Deep Reinforcement Learning	Storage Dispatch / Demand Response	Cost reduction by 15–20%	Seconds
Convolutional Neural Networks	Fault and accident detection	Damage localization accuracy >92%	ms
Edge AI	Local voltage stabilization in a Microgrid	Prevention of cascading outages	<10 ms

A special place is occupied by Edge AI. Transferring computational power directly to the level of smart meters and inverters ensures the autonomy of microgrids: the system automatically isolates a damaged section within a few milliseconds, preserving power to critical facilities. The Smart Grid thus turns into an active self-regulating system, where the balance of generation and consumption is maintained based on Big Data analysis without cloud transmission delays [2, 8, 10].

The integration of artificial intelligence into the architecture of Smart Grids is a critically necessary condition for a successful energy transition. The application of neural networks (in particular, LSTM and Transformer architectures) minimizes the risks associated with the stochastic nature of renewable energy sources, ensuring generation forecasting accuracy of over 95% [1, 4].

The implementation of Reinforcement Learning methods for Demand Response allows not only to balance the load on the grid but also to reduce the operational costs of consumers and distribution system operators by 15–20% due to the intelligent control of energy storage [3, 7].

Predictive diagnostics based on AI significantly increases the survivability of the power system. The ability to identify pre-emergency states of equipment and automatically reconfigure the grid topology (Self-healing) reduces downtime and increases the reliability of power supply under critical loads [2, 9].

Further development of the industry is associated with the introduction of edge computing (Edge AI), which will allow making decisions directly at the level of end nodes of the grid, ensuring the autonomy of microgrids (Microgrids).

References

1. Rolnick, D., Donti, P.L., Kaack, L.H., Kochanski, K., Lacoste, A., Sankaran, K., Ross, A.S., Milojevic-Dupont, N., Jaques, N., Waldman-Brown, A., Luccioni, A.S., Maharaj, T., Sherwin, E.D., Mukkavilli, S.K., Kording, K.P., Gomes, C.P., Ng, A.Y., Hassabis, D., Platt, J.C., Creutzig, F., Chayes, J., & Bengio, Y. (2022). Tackling Climate Change with Machine Learning. *ACM Computing Surveys*, 55(2), Article 42. <https://doi.org/10.1145/3485128>
2. International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA, Paris. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>
3. Antonopoulos, I., Robu, V., Couraud, B., Kirli, D., Norbu, S., Kiprakis, A., Flynn, D., Elizondo-Gonzalez, S., & Wattam, S. (2020). Artificial intelligence and machine learning approaches to energy demand-side response: A systematic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 130, 109899. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109899>
4. Fathollahi, A. (2025). Machine Learning and Artificial Intelligence Techniques in Smart Grids Stability Analysis: A Review. *Energies*, 18(13), 3431. <https://doi.org/10.3390/en18133431>
5. Nagappan, B., Chaudhary, C., Doda, D. K., & Kumar, S. (2024). Review on smart grids and renewable integration: An artificial intelligence-powered perspective. *Multidisciplinary Reviews*, 6, 2023ss070. <https://doi.org/10.31893/multirev.2023ss070>

6. Xu, N., Tang, Z., Si, C., Bian, J., & Mu, C. (2025). A Review of Smart Grid Evolution and Reinforcement Learning: Applications, Challenges and Future Directions. *Energies*, 18(7), 1837. <https://doi.org/10.3390/en18071837>
7. Vázquez-Canteli, J.R., & Nagy, Z. (2019). Reinforcement learning for demand response: A review of algorithms and modeling techniques. *Applied Energy*, 235, 1072–1089. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.11.014>
8. Liya, B.S., Harish Kumar, E., Morshedur Hassan, M.M., Aush, M.G., & Anand, D. (2026). Energy efficient cyber-physical control of renewable microgrids using edge-AI enabled IoT and secure blockchain coordination. *Scientific Reports*. <https://doi.org/10.1038/s41598-026-50169-y>
9. Lin, J., & Zhou, C. (2025). Fast fault diagnosis of smart grid equipment based on deep neural network model based on knowledge graph. *PLOS ONE*, 20(2), e0315143. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0315143>
10. International Energy Agency. (2025). *Energy and AI*. IEA, Paris. [Online]. Available: <https://www.iea.org/reports/energy-and-ai>



Onyshchenko R. I.,

PhD student,

e-mail: rostyslav.i.onyshchenko@pdau.edu.ua

Velychko K. S.,

PhD student,

e-mail: kyrylo.velychko@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian University,

Poltava, Ukraine

ON THE CONDITIONS FOR DETERMINING THE VELOCITY OF DISPLACEMENTS AT THE «WORKING ELEMENT-SOIL» CONTACT SURFACE

The magnitudes of strains and the type of deformed state of the medium during its interaction with working elements significantly affect the course of cultivation processes [1,2]. The fundamental problem in analyzing the stress-strain state of a medium – where displacements or their velocities are specified on the contact surface – is determining the displacements of the medium ahead of the working element [3]. In the general case, the surface of the deformer (a three-dimensional passive working element of arbitrary geometry and dimensions) (Fig. 1) can be expressed by this equation:

$$f = \xi - sl + b(\eta - bs)^\beta + c(\zeta - H)^\gamma. \quad (1)$$

To examine the motion of medium points along the deformer-soil contact surface, the following assumptions and simplifications are adopted:

- the surface of the deformer is perfectly smooth, and medium points move along it without friction – the validity of this assumption is based on the proportional influence on changes in sliding velocity components in all directions;
- the surface moves rectilinearly and uniformly in the direction of the Ox axis;
- contact of the medium with the surface occurs over its entire working area;
- the surface equation is an analytic, continuous, and differentiable function with respect to all independent variables;
- the magnitude of medium displacements is considered so small that curvilinear trajectories may be regarded as rectilinear;
- displacements are considered sufficiently small so that discontinuity and failure of the medium do not occur (i.e., the analysis is conducted using elasticity theory methods) – these conditions allow a surface of any geometric shape to be described.

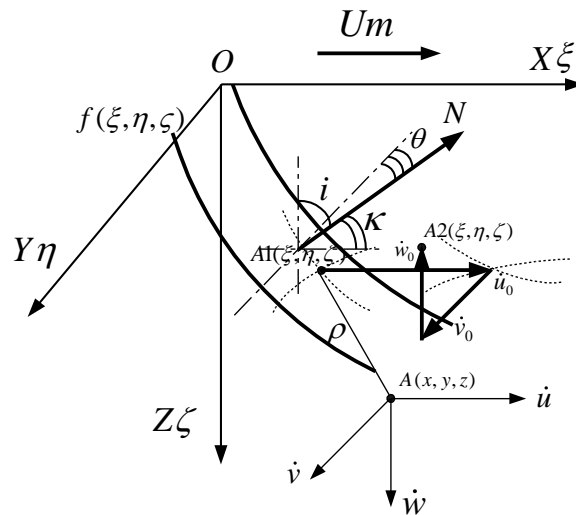


Fig. 1. Schematic of the interaction between the working element and the soil medium

Under conditions where the deformer moves through the medium at a velocity U_m over time t , its surface shifts in the direction of the Ox axis by a distance equal to the difference between the abscissae of points Ax_2 and Ax_1 , that being $U_m t$. Simultaneously, due to the curvature of the surface, the contact point A shifts from position $A1(\xi_1, \eta_1, \zeta_1)$ to $A2(\xi_2, \eta_2, \zeta_2)$ traveling a distance of $\dot{u}_0 t$ in the direction of the Ox axis, $\dot{v}_0 t$ – in the direction of the Oy axis, and $\dot{w}_0 t$ – in the direction of Oz axis (Fig. 2).

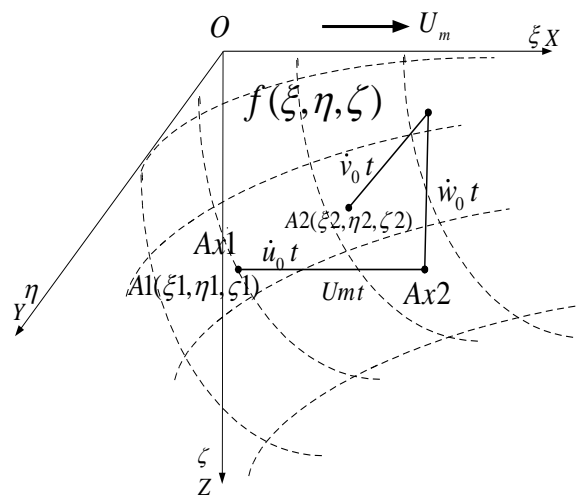


Fig. 2. Schematic of point displacements along the curved surface of the deformer

Friction along the deformer surface can be neglected or accounted for via the friction coefficient φ , since it exerts a proportional effect on all displacement directions, and for determining the type of deformed state, the ratio of strain magnitudes is what matters. For simplicity, velocity components rather than displacements themselves can be considered. For small displacement values, the trajectories of a point moving along a curved surface can be treated as rectilinear.

Displacement of the surface at Um velocity will cause the point $A1(\xi1, \eta1, \zeta1)$ move to $A2(\xi2, \eta2, \zeta2)$. In this case, the projection of its absolute velocity onto the outer normal to the surface $f(\xi, \eta, \zeta)$ at the corresponding point, it will be:

$$U = Um \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \zeta}\right)^2} = Um \sqrt{1 + c^2 \gamma^2 (-H + \zeta)^{-2+2\gamma} + b^2 \beta^2 (-bs + \eta)^{-2+2\beta}}. \quad (2)$$

The velocity components projected onto the coordinate axes will look like

$$\dot{u}_0 = U l, \quad \dot{v}_0 = U m, \quad \dot{w}_0 = U n,$$

where

$$l = \frac{\partial f / \partial \xi}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \zeta}\right)^2}}; \quad n = \frac{\partial f / \partial \zeta}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \zeta}\right)^2}};$$

$$m = \frac{\partial f / \partial \eta}{\sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial \xi}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \eta}\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial \zeta}\right)^2}}.$$

Therefore

$$\dot{u}_0 = \varphi Um; \quad \dot{v}_0 = \varphi b Um \beta (-bs + \eta)^{-1+\beta}; \quad \dot{w}_0 = \varphi c Um \gamma (-bs + \zeta)^{-1+\gamma}. \quad (3)$$

These relations describe how the displacement velocity components vary at points on the surface of a three-dimensional passive deformer of arbitrary geometry and dimensions. They highlight the considerable influence of surface curvature on the variation of displacement velocity components along it. Friction at the contact surface exerts a proportional influence on the displacement velocity components and is accounted for by the friction coefficient φ .

Relations (3) represent the boundary conditions on the surface of the tillage working element, whose geometry is defined by equation (1). These conditions are governed by the nature of the interaction between the working element of arbitrary shape and the soil, and will be employed in the subsequent analysis of the stress-strain state of the soil medium ahead of the working element.

References

1. Koolen, A. J., Kuipers, H. Agricultural Soil Mechanics. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 1983. 260 p. URL: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-69010-5>
2. Mekhanika gruntiv: pidruchnyk [Soil Mechanics: Textbook] /za red. O.M. Shashenka. NTU «Dniprovska politekhnik». 3-tie vyd., pererobl. i dop. Dnipro: NTU «DP», 2024. 339 s. in Ukrainian)
3. Kovbasa, V. P. Peremishchennia ta deformatsii seredovyshcha pered robochym orhanom u prostori [Displacements and deformations of the medium in front of the working element in space]. Kyiv: Naukovyi visnyk NAU, vyp. 60. 2003. 198-203. in Ukrainian)



Kovbasa V. P.,
Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the
Department of Mechanical and Electrical Engineering
e-mail: kovbasa.volodymyr@pdau.edu.ua

Huz V. Yu.,
PhD student,
e-mail: vitalii.huz@pdau.edu.ua
*Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine*

OPTIMIZATION CRITERIA FOR PARAMETERS AND OPERATING MODES OF TILLAGE WORKING ELEMENTS

During the interaction between the working elements of tillage machines and soil, a stress-strain state arises within the soil, the nature of which significantly affects changes in soil properties and the energy intensity of its cultivation. Thus, the predominance of the hydrostatic component of the stress and strain tensor («-» sign) leads to an increase in bulk density, and vice versa. An increase in the deviatoric component of the stress (strain) tensor leads to a decrease in bulk density due to soil dilatancy. Moreover, the lowest energy intensity of deformation and soil failure is observed under tension and shear, confirmed by the Pisarenko-Lebedev strength criterion.

Therefore, to optimize the parameters and operating modes of tillage working elements, a criterion must be adopted that characterizes the type of stress-strain state of the soil in the half-space ahead of the working element.

In many processes related to the study of stresses and strains generated by the action of machine working elements on soil, the question of the type of stress-strain state of the medium arises. This concerns determining which stresses and strains prevail at a given point (hereafter, for brevity, “point of the medium” refers to its elementary volume) – that is, which type of stress predominates: compression, tension, or shear. The predominance of one or another type of stress, and consequently of strain, determines the change in the physical and mechanical properties of the medium and the energy intensity of this process.

In plane stress problems, determining the predominant stress (strain) is straightforward, since three components characterize the stress-strain state. In XOY plane, the stress relationships (when principal stresses coincide with coordinate axes) take the form of an equation:

$$\sigma = \sigma_x \cos^2 \alpha + \sigma_y \sin^2 \alpha; \quad \tau = (1/2)(\sigma_y - \sigma_x) \sin 2\alpha. \quad (1)$$

Therefore, determining the type of stress-strain state for the plane case presents no difficulties. In the three-dimensional case, the type of stress is determined by the interaction of the nine components of the complete stress tensor.

The type of stress state for a spatial problem is determined by the stress state type angle w and the Lode-Nadai parameter μ [1, 2].

The magnitude $0 \leq w \leq \pi/3$ lies within the range $w = \pi/3$ under pure tension, $w = 0$ under compression, and $w = \pi/6$ under shear. The stress-strain state type angle of the soil is the angle between the normal to the surface of equal principal stresses and the normal to the principal stress surface (the octahedral plane) (Fig. 1).

The type angle is a function of the stress (strain) invariants:

$$-\cos 3w = \left(3\sqrt{3}I_{3\sigma} / 2(I_{2\sigma})^{\frac{3}{2}} \right); \quad -\cos 3w = \left(3\sqrt{3}I_{3\varepsilon} / 2(I_{2\varepsilon})^{\frac{3}{2}} \right). \quad (2)$$

The Lode-Nadai parameter takes values $\mu = \sqrt{3}ctg(w + \pi/3), -1 \leq \mu \leq 1$, corresponding to $\mu = -1$ for pure tension, $\mu = 1$ for compression, and $\mu = 0$ for shear, respectively.

Applying dependencies (2) to analyze the type of stress-strain state associates with certain difficulties, since each stress component at a spatial point has its own complex functional dependence on coordinates and medium properties. An attempt has been made to simplify the stress-state-type criteria to enable their practical use in analyzing the interaction between working elements and a continuous medium.

The intensity of shear stresses (the second tensor invariant) is proportional to the root mean square of the shear stresses [3]. In turn, the magnitude of the tangential stresses is $I_\tau = \sqrt{I_{2\sigma}}$; therefore, in the expression involving cosines, the denominator simplifies, and instead of $I_{2\sigma}$, we can write I_τ .

The value of the coefficient μ_2 changes accordingly: $\mu_2 = \sqrt{3}ctg(w_2 + \pi/3)$.

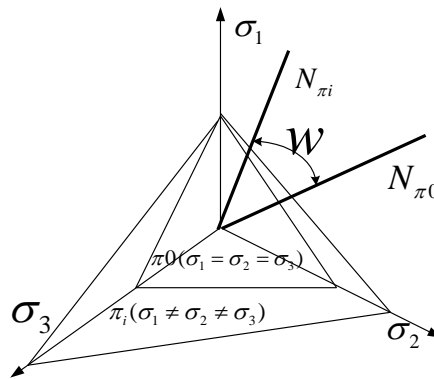


Fig. 1. Determination of the viewing angle of the stress-strain state ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ – principal stresses)

$$w_2 = \frac{1}{3} \arccos \left[-\frac{(\sigma_x - \sigma_m)(\sigma_y - \sigma_m)(\sigma_z - \sigma_m)}{6\sqrt{3}(\tau_{xy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{yz}^2)^{\frac{3}{4}}} \right]. \quad (3)$$

However, the stress state type criteria remain complex. The physical meaning of the criteria will not change if the third stress invariant in the numerator of the Lode-Nadai parameter expression is replaced by the first invariant, and the trigonometric function is neglected. In this case, the resulting function of stress components is significantly simplified and can be used to determine the type of stress-strain state of the medium:

$$\mu_3 = -\frac{\sqrt{3}(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)}{2\sqrt{\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{xz}^2}}. \quad (4)$$

The drawback of this simplified criterion is the indeterminacy of the absolute extreme values characterizing pure tension and pure compression; however, pure shear corresponds to a criterion value of $\mu_3 = 0$. A value of μ_3 with the «-» sign indicates a predominance of tensile stresses (strains), while the «+» sign indicates a predominance of compressive stresses.

In its simplified formulation, the stress-strain state type criterion can be applied as an optimization criterion for the parameters and operating modes of tillage working elements. Based on the above, it can be concluded that the maximum deformations causing soil loosening under the action of a deformer, with minimal energy consumption, can be achieved at the minimum value of the criterion describing the stress-strain state of the medium. At the minimum value of the criterion for the form of the stress-strain state, the nature of deformation and subsequent failure will correspond to a shear failure with detachment. If it is necessary to achieve compaction (an increase in density or bulk density) of the soil, the value of the criterion for the form of the stress-strain state is $\mu_3 \rightarrow \max$, which corresponds to the predominance of compressive deformations.

Determining the deformation state criterion based on the ratios of deformation components yields similar results.

References

1. Trokhymchuk P. P. *Mekhanika sutsilnykh seredovyshch* [Mechanics of Continuous Media]. Lutsk: Vezha-Druk, 2018. 156 s. (in Ukrainian)
2. *Teoriia pruzhnosti, plastychnosti i povzuchosti: pidruchnyk* [Theory of Elasticity, Plasticity and Creep: textbook]/M. S. Mozharovskyi. Kyiv: Vyscha shkola, 2002. 308 s. (in Ukrainian)
3. Nadai, Arpád. *Theory of Flow and Fracture of Solids*. Vol. 1. New York: McGraw-Hill, 1950. 572 p.



СЕКЦІЯ 2

Агроінженерія та технічне забезпечення агропромислового виробництва

Kalinichenko A.V.,

Dr hab., Professor,

e-mail: akalinichenko@uni.opole.pl

Institute of Environmental Engineering and Biotechnology,

University of Opole, Poland

Liashenko S.V.,

PhD in Engineering Sciences, Associate Professor,

head of the Department of Agroengineering and Motor Transport,

e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Poltava State Agrarian University,

Poltava, Ukraine

JUSTIFICATION OF ENERGY-SAVING OPERATING MODES OF A TREE BRANCH SHREDDER FOR THE PRODUCTION OF FUEL MATERIAL

The raw material potential of firewood for combustion has been rapidly decreasing in recent years, while the search for alternative energy sources encourages household owners to utilize secondary wood resources. It is known that during wood processing, especially on an industrial scale, a significant amount of waste is generated, the volume of which may reach approximately 50% of the finished product mass. With a rational approach, this waste can be effectively used for further processing and obtaining energy-valuable raw materials. Under modern conditions, waste-free technologies aimed at the comprehensive utilization of biomass and minimization of negative environmental impacts are gaining particular importance. Such technologies include an innovative system for the utilization of fruit tree branches generated during sanitary pruning in farm orchards.

The use of shredded tree branches as a crisis-resistant fuel material is currently considered a promising alternative energy source for heating residential and utility premises. The obtained shredded fraction can be used as raw material for direct combustion in solid-fuel boilers, as well as for the production of wood chips, briquettes, or pellets. At the same time, the utilization of wood waste allows reducing energy costs, increasing the level of household energy independence, and decreasing the uncontrolled burning of plant residues in open areas.

Modern utilization of wood waste involves their most rational use through the application of high-tech equipment and innovative technological solutions. Therefore, the issue of developing technologies and mechanization means for shredding tree branches into fuel material becomes highly relevant. Particular attention should be paid to increasing the energy efficiency of the shredding process, reducing specific energy

consumption, and ensuring stable equipment operation under conditions of variable physical and mechanical characteristics of wood raw materials.

Since branch raw materials, during loading into the receiving hopper of the shredder, cause disturbances in the cutting balance position, there is a need for a more detailed study of the operating parameters of the machine when working with such material. During the shredding process, a change in the angle between the branch feeding axis and the disk rotation axis leads to the occurrence of a chopping mode, accompanied by increased energy consumption, higher impact loads on the working bodies, and reduced equipment productivity. In addition, uneven branch feeding negatively affects the stability of disk rotation and may cause increased wear of knives and drive elements.

To eliminate these shortcomings, it is advisable to improve the design of the loading chute, which should contain a special guiding device limiting the angle of inclination of the tree branches relative to the disk rotation axis. The proposed design solution ensures stabilization of the material feeding process, improves cutting conditions, and contributes to reducing specific energy consumption during shredding [1]. At the same time, this makes it possible to increase operational safety and improve the quality of the obtained fuel fraction.

Thus, experimental studies of energy-saving operating modes of mechanization means for shredding tree branches represent an important scientific and applied task in the field of technologies and mechanization means of agricultural production. The aim of the study is to improve the waste-free technology of tree branch utilization and to substantiate the energy-saving operating mode of the mechanization means for their shredding in order to produce fuel material for households.

The main objectives of the study are to substantiate the technology of waste-free utilization of tree branches, analyze the structural schemes of shredders, determine the optimal operating parameters of the cutting process, and select rational design parameters for the developed shredder. Another important objective is to evaluate the energy efficiency of the equipment and determine the conditions for ensuring minimum electrical energy consumption while maintaining the required productivity.

As a result of the conducted experimental studies, it was established that the range of rational values of the shredder parameters, namely the cutting angle of tree branches during feeding, lies within $30^{\circ}00' \dots 41^{\circ}25'$, while the protrusion distance of the knives from the disk plane is within the range of 0.005...0.011 m. Under such conditions, the most efficient cutting process is ensured with minimized impact loads and stable material passage through the working zone of the shredder. In this case, the electric energy consumption of the household shredder motor amounts to

$W = 1.29 \dots 1.83$ kWh, which indicates the energy feasibility of using the proposed design under the conditions of private households. The obtained results confirm the effectiveness of the proposed structural and technological solutions and can be used for further improvement of mechanization means for wood waste processing [2, 3].

References

1. Łukasz, W.; Mateusz, K.; Bartosz, W.; Piotr, K. Energy consumption of the wood size reduction processes with employment of a low-power machines with various cutting mechanisms. *Renew. Energy* 2022, 181, 630-639.
2. Small mobile biomass shredder: pat. 135,923 Ukraine. No. u 201901468; Appl. 14 February 2019; publ. 25.07.2019, bul. No. 14. <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/node/4634/pu135923vid25072019byulno14.pdf> (accessed on 20 May 2026).
3. Wood chipper: pat. 125,965 Ukraine. No. u 201800808; Appl. 29.01.2018; publ. 25.05.2018, bul. No. 10. <https://www.pdaa.edu.ua/sites/default/files/node/4048/no6.pdf> (accessed on 20 May 2026).



Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Колесніченко А.А.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: anton.kolesnichenko@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТРАКТОРНОГО ПАРКУ КП «ЕФЕКТ» РЕШЕТИЛІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Система технічного сервісу тракторного парку комунального підприємства КП «ЕФЕКТ» Решетилівської міської ради Полтавської області є важливою складовою забезпечення ефективної та безперебійної експлуатації машинно-тракторного обладнання. Її функціонування базується на принципах планово-попереджувального обслуговування, систематичного контролю технічного стану машин та своєчасного виконання комплексу профілактичних і ремонтних заходів. Основною метою системи є підтримання високого рівня технічної готовності тракторів, мінімізація простоїв техніки, зниження експлуатаційних витрат та забезпечення безпечних умов праці обслуговуючого персоналу.

Ефективність технічного сервісу значною мірою залежить від організації постійного моніторингу технічного стану тракторів у процесі їх експлуатації. Своєчасне виявлення ознак зношування, порушень режимів роботи вузлів і агрегатів, а також відхилень основних технічних параметрів від нормативних значень дозволяє запобігати виникненню аварійних відмов та суттєво підвищувати надійність машин. Особливістю сучасної системи технічного сервісу є її профілактична спрямованість, за якої основна частина сервісних операцій виконується до моменту виникнення несправностей або критичного погіршення технічного стану техніки.

Плановий характер технічного сервісу полягає у проведенні регламентованого комплексу робіт після досягнення трактором визначеного напрацювання в мото-годинах. Для кожної марки та моделі техніки встановлюються відповідні інтервали проведення технічного обслуговування, що враховують конструктивні особливості машин, умови експлуатації та рівень навантаження. Такий підхід забезпечує системність організації сервісних заходів, дозволяє прогнозувати потребу в запасних частинах, мастильних матеріалах і трудових ресурсах, а також сприяє підвищенню коефіцієнта технічної готовності тракторного парку.

Важливою складовою функціонування системи є реалізація планово-попереджувальної концепції технічного сервісу, яка передбачає проведення

комплексу ремонтно-обслуговуючих впливів протягом усього життєвого циклу машини. До таких впливів належать технічне обслуговування (ТО), поточний ремонт (ПР) та капітальний ремонт (КР). [1, 2] Виконання зазначених заходів забезпечує підтримання працездатності тракторів, відновлення ресурсу окремих вузлів і агрегатів, а також продовження терміну експлуатації техніки без суттєвого зниження її техніко-економічних показників.

Технічне сервісне обслуговування тракторів розглядається як комплекс організаційно-технічних операцій, спрямованих на підтримання справного технічного стану машин під час їх експлуатації, транспортування та зберігання. Воно здійснюється відповідно до регламентів виробників техніки, вимог нормативно-технічної документації та умов експлуатації машин. Основними завданнями технічного сервісного обслуговування є створення оптимальних умов функціонування деталей і механізмів, забезпечення стабільної роботи силових установок, трансмісій та гідравлічних систем, а також зниження інтенсивності зношування елементів конструкції.

Відповідно до вимог ДСТУ 9050:2020 для тракторів і сільськогосподарської техніки передбачено декілька видів технічного сервісного обслуговування. До них належать сервісне обслуговування у період обкатки машини, передпродажне обслуговування, щоденне сервісне обслуговування (ЩСО), а також періодичні номерні технічні обслуговування ТО-1, ТО-2 і ТО-3. Щоденне обслуговування виконується через кожні 10 годин роботи або після завершення зміни та включає зовнішній огляд машини, очищення від забруднень, перевірку рівня мастильних матеріалів і працездатності основних систем.

Таким чином, система технічного сервісу тракторів КП «ЕФЕКТ» є важливим елементом забезпечення ефективного функціонування підприємства та раціонального використання машинно-тракторного парку. Її впровадження дозволяє підвищити експлуатаційну надійність техніки, зменшити витрати на ремонт, забезпечити стабільність виконання виробничих процесів і підвищити загальну економічну ефективність діяльності підприємства.

Список використаних джерел

1. Varchenko O., Artimonova I., Gerasimenko I., Kachan D. (2020) Logistical management of material and technical support of production activities of agricultural enterprises. *Economic discourse*, Issue 3, P. 92-105. URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/5579/1/ED_Issue_3_2020_new.pdf
2. Шуліка С.А. Експлуатація машин та обладнання. Електронний підручник [Електронний ресурс] : навч. підр. для студ. тех. вузів III-IV рівнів акредитації С.А Шуліка, Л.А. Дяченко, В.М.Кіяшко, В.І. тихоліз та ін. Київ : ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти»: https://evgivanov.github.io/expl_html_book/index.html

Біленко В. О.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: vladyslav.bilenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ЗМІШУВАЧІВ КОРМОВИХ СУМІШЕЙ

Ефективність приготування повнораціонних кормових сумішей у тваринництві значною мірою визначається якістю роботи змішувальних машин. Однорідність суміші безпосередньо впливає на засвоюваність кормів, продуктивність тварин та економічну ефективність виробництва. У зв'язку з цим актуальним є завдання оптимізації конструктивних і режимних параметрів кормозмішувачів [1, 2]. Сучасні дослідження показують, що процес змішування є багатофакторним. Він залежить від геометрії робочих органів, швидкості їх руху, ступеня заповнення робочої камери, фізико-механічних властивостей компонентів корму та тривалості процесу змішування. Як відзначається у наукових роботах, саме раціональне поєднання цих параметрів дозволяє досягти мінімальних енерговитрат при максимальній однорідності суміші [3]. Одним із ключових напрямів підвищення ефективності є оптимізація кінематичних режимів роботи змішувача. Дослідження вертикальних змішувачів показують, що існує раціональний діапазон швидкостей обертання робочих органів, за якого досягається максимальний ступінь однорідності суміші при мінімальному споживанні енергії. При відхиленні від оптимальних режимів спостерігається або недостатнє перемішування, або надмірне руйнування структури компонентів. Важливим фактором є також конструкція робочих органів змішувача [4-5]. Зміна геометрії лопатей або шнеків дозволяє регулювати траєкторії руху частинок корму. Це впливає на інтенсивність масообміну та швидкість досягнення однорідності. Теоретичні та експериментальні дослідження підтверджують, що удосконалення конструкції змішувальних елементів є одним із найефективніших шляхів підвищення продуктивності машин. Особливу увагу слід приділяти ступеню заповнення робочої камери [6]. Надмірне завантаження призводить до погіршення циркуляції матеріалу, а недостатнє – до неефективного використання енергії. Оптимальний рівень заповнення забезпечує стабільний режим руху кормової маси та рівномірний розподіл компонентів у об'ємі змішувача.

Отже, оптимізація параметрів роботи кормозмішувачів повинна базуватися на комплексному підході. Він повинен враховувати конструктивні, кінематичні та технологічні фактори. Реалізація раціональних режимів роботи дозволяє підвищити якість кормових сумішей, зменшити енерговитрати та підвищити ефективність тваринницького виробництва.

Список використаних джерел

1. Біленко В. Проблематика кормоприготування у тваринництві. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції молодих учених, м. Запоріжжя, ТДАТУ, 05-29 лютого 2024 р. Запоріжжя, 2024. С. 32.
2. Попов С.В., Бучинський М.Я., Гнітько С.М., Чернявський А.М. Теорія механізмів технологічних машин: підручник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Харків: НТМТ, 2019. 268 с.
3. Васильєв Є.А., Попов С.В. Оптимізація конструкції лопатей вертикального змішувача примусової дії. *Техніка та технології в агропромисловому виробництві*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, ПДАУ, 7-8 жовтня 2021 р. Полтава, 2021. С. 27-30.
4. Кісільов Р. В., Лузан П. Г., Амосов В. В., Васильковський О. М. Дослідження впливу конструктивних параметрів змішувача на якість приготування кормової суміші. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 12(43). С. 187-194.
5. Черновол М. І., Свірень М. О., Кісільов Р. В. Приготування кормових сумішей комбінованим змішувачем. *Вісник аграрної науки*. 2018. № 2. С. 54-59.
6. Шабельник Б. П. Теорія та розрахунок машин для тваринництва: монографія. Харків: ХДТУСГ, 2002. 216 с.



Брикун О.М.,канд. техн. наук, доцент кафедри будівництва та професійної освіти,
e-mail: oleksandr.brykun@pdau.edu.ua**Рябов А.М.,**здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: andrii.riabov@pdau.edu.ua*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОЦІНЮВАННЯ КРИТЕРІЇВ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ДРОБУ

Дробоструминна обробка є поширеним технологічним процесом, що використовується в машинобудуванні та різних галузях промисловості для зміцнення поверхні, видалення окалини, іржі та інших забруднень [1-3]. Аналіз літератури показав, що найпоширенішим абразивом на сьогоднішній день залишається сталевий дріб, що виготовляється відповідно до стандартів DIN 8201-2, ISO 11124-4, SAE J444. Застосування сталевого дробу порівняно з чавунним забезпечує менше зношування обладнання, скорочує час обробки для досягнення необхідної якості, менше забруднює оброблювані деталі, значно знижує витрату дробу. Вирішальними критеріями якості дробу є зносостійкість (яка визначається шляхом випробування на міцність) та інтенсивність впливу дробу на поверхню. Абразивний матеріал є тим економічнішим, чим довше він обробляє поверхню з максимальною ефективністю до повного руйнування. Зносостійкість різних видів дробу визначається шляхом випробування на міцність і носить назву Ервін-тесту. Ервін-тестер – це машина, яка імітує процес обробки дробом та оснащена лічильником для підрахунку циклів. Зносостійкість абразиву коливається в різних межах, залежно від швидкості їх атаки. Результат вимірювання значною мірою залежить від обраної фракції дробу та ситового аналізу обраного розміру дробу. Існуючі стандарти дозволяють деяку свободу у виборі номіналів сита, що утруднює користувачеві порівнювати різних постачальників.

Інтенсивність обробленої поверхні визначається відповідно до критерію процедури вимірювання Almen – названа на честь її винахідника. Тест ґрунтується на використанні стандартизованої вимірювальної пластини, виготовленої із листової сталі, яка поміщається у затискачі, а потім встановлюється в Ервін-машину, де обробляється абразивом з використанням лічильника циклів. Після обробки пластини виймається і здійснюється вимірювання згину. Отримане відхилення, використовується як стандарт для розрахунку інтенсивності обробки. Зносостійкість дробу, а також інтенсивність значно залежить від характеристики твердості дробу. У свою чергу, твердість абразиву залежить від його хімічного аналізу (вмісту вуглецю) і термообробки, яку, можливо, він пройшов при виробництві. Виробники пропонують абразив із високим вмістом вуглецю, низьковуглецевий дріб і рідше дріб із середнім вмістом вуглецю. Дані типи абразиву мають відмінності в процесі їх

виробництва, а також мають різні переваги і недоліки. Вміст вуглецю у високовуглецевому дробі становить 0,8%...1,2%, а вміст вуглецю в низьковуглецевому дробі – від 0,1% до 0,2%. Основний вплив на твердість абразиву має вміст вуглецю, хоча легувальні елементи, зокрема кремній і марганець, також впливають на формування структури та механічні властивості. Завдяки зазначеним відмінностям у їх хімічних складах, можна спостерігати якісні відмінності у витривалості та інтенсивності абразиву. Порівняння наочно показує характер руйнування високовуглецевого та низьковуглецевого абразивів. Через дуже високу швидкість охолодження під час виробництва, високовуглецевий дріб має неоднорідний склад, що складається з мартенситу та залишкового аустеніту. Ці структурні складові мають різні питомі об'єми, що призводить до виникнення внутрішніх напружень і формування мікротріщин, які неможливо видалити повністю з подальшою термічною обробкою. Через високу тенденцію утворення тріщин у структурі, високовуглецевий дріб не може конкурувати за зносостійкістю з низьковуглецевим.

Проведені дослідження зносостійкості для сталевого сферичного дробу (номер 1,0) згідно з ДСТУ 3184-95 показують, що зношування (витрата) збільшується зі збільшенням вмісту вуглецю в хімічному складі дробу. При цьому зразки низьковуглецевого дробу зазначеного розміру проходять більше циклів до стирання, ніж зразки високовуглецевого дробу. Таким чином, низьковуглецевий дріб має перевагу у зносостійкості $> 20\%$, що відіграє важливу роль в економії витрат. Характеристики інтенсивності обробки для зразків дробу з високовуглецевого та зразків дробу з низьким вмістом вуглецю показали наступне. Зразки низьковуглецевого дробу протягом перших 250 циклів зазнають холодного деформаційного зміцнення, тим самим збільшуючи показники інтенсивності. Значення інтенсивності за Альменом для високовуглецевого дробу, навпаки, зменшується протягом перших 250 циклів. Показники зносостійкості та інтенсивності мають суперечливий характер. Чим більший вміст вуглецю в абразиву, тим краще показники інтенсивності, але зносостійкість, проте, значно знижується. Раціональне рішення полягає у знаходженні компромісу між тривалою зносостійкістю та високою інтенсивністю, що потребує подальших досліджень.

Список використаних джерел

1. Basdeki M., Apostolopoulos C. The Effect of Shot Blasting Process on Mechanical Properties and Anti-Corrosive Behavior of Steel Reinforcement. *Metals*. 2022. 12, 275.
2. Kovacı H., Bozkurt Y., Yetim, A.F., Aslan M., Çelik A. The effect of surface plastic deformation produced by shot peening on corrosion behavior of a low-alloy steel. *Surface and Coatings Technology*. 2019. Vol. 360. P. 78–86.
3. Горик О.В., Ковальчук С.Б., Брикун О.М., Черняк Р.Є. Прогнозування шорсткості металевих поверхонь деталей машин при дробеструменевому очищенні. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. № 63. С. 38–43.

Горюнов Б.О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,**м. Полтава, Україна*

SMART FARMING ЯК ОСНОВА ЦИФРОВОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

Сучасний розвиток аграрного сектору характеризується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизації та інтелектуальних систем управління виробництвом. Зростання потреби у підвищенні продуктивності сільського господарства, раціональному використанні природних ресурсів і забезпеченні продовольчої безпеки зумовлює необхідність переходу до нових підходів організації аграрного виробництва. Одним із найбільш перспективних напрямів є концепція Smart farming, яка базується на використанні інформаційних технологій, систем моніторингу, аналізу даних та автоматизованого управління сільськогосподарськими процесами. Впровадження таких технологій створює умови для цифрової трансформації аграрної галузі та підвищення її ефективності.

Smart farming передбачає використання сучасних цифрових рішень для контролю та оптимізації виробничих процесів у рослинництві й тваринництві. Основою цієї концепції є інтеграція систем глобального позиціонування, датчиків, безпілотних літальних апаратів, Інтернету речей (IoT), штучного інтелекту та спеціалізованого програмного забезпечення. Такі технології дозволяють отримувати інформацію про стан ґрунтів, рівень вологості, погодні умови, стан рослин, використання техніки та інші параметри у режимі реального часу. Це забезпечує можливість оперативного прийняття управлінських рішень і підвищує точність виконання агротехнологічних операцій [1-3].

Одним із важливих напрямів Smart farming є точне землеробство. Використання GPS-навігації, супутникового моніторингу та геоінформаційних систем дозволяє здійснювати диференційоване внесення добрив, засобів захисту рослин і насіння залежно від характеристик окремих ділянок поля. Такий підхід забезпечує зниження витрат ресурсів, зменшення негативного впливу на довкілля та підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Крім того, автоматизоване керування технікою дозволяє мінімізувати перекриття під час обробітку полів і скоротити витрати пального.

Суттєве значення у цифровій трансформації сільського господарства має використання безпілотних літальних апаратів. Дрони застосовуються для аерофотозйомки полів, моніторингу стану посівів, визначення зон ураження рослин та контролю виконання польових робіт. Завдяки отриманню детальної інформації про стан агроценозів фермери можуть оперативно реагувати на проблеми, пов'язані з нестачею вологи, поширенням шкідників чи хвороб

рослин. Це сприяє підвищенню ефективності аграрного виробництва та скороченню виробничих ризиків.

Важливим складником Smart farming є автоматизація та роботизація виробничих процесів. Сучасна сільськогосподарська техніка оснащується системами автоматичного керування, датчиками контролю та програмними комплексами, які забезпечують високу точність виконання технологічних операцій. У тваринництві активно використовуються автоматизовані системи годівлі, доїння, контролю мікроклімату та моніторингу стану тварин. Такі рішення дозволяють зменшити потребу у ручній праці, підвищити продуктивність і покращити умови утримання тварин.

Суттєву роль у Smart farming відіграє аналіз великих масивів даних та використання штучного інтелекту. Обробка інформації, отриманої від датчиків, дронів і технічних систем, дозволяє прогнозувати врожайність, оцінювати ризики, оптимізувати строки виконання польових робіт і приймати більш ефективні управлінські рішення. Інтелектуальні алгоритми здатні автоматично виявляти закономірності у виробничих процесах та рекомендувати найбільш ефективні технологічні рішення.

Разом із перевагами цифрової трансформації аграрного виробництва існують і певні труднощі впровадження Smart farming. До них належать висока вартість сучасного обладнання, потреба у стабільному доступі до цифрової інфраструктури, недостатній рівень цифрових компетентностей персоналу та складність інтеграції різних інформаційних систем. Крім того, важливими залишаються питання кібербезпеки та захисту даних у цифровому аграрному середовищі.

Отже, Smart farming є важливою основою цифрової трансформації сільського господарства та одним із ключових напрямів розвитку сучасного аграрного виробництва. Використання цифрових технологій, автоматизованих систем управління, точного землеробства, роботизації та штучного інтелекту забезпечує підвищення продуктивності, економічної ефективності та екологічної безпеки аграрної галузі. Подальший розвиток Smart farming сприятиме формуванню високотехнологічного та конкурентоспроможного сільського господарства майбутнього.

Список використаних джерел

1. Wolfert S., Ge L., Verdouw C., Bogaardt M.-J. Big Data in Smart Farming – A review // *Agricultural Systems*. 2017. Vol. 153. P. 69–80.
2. Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture – A worldwide overview // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2002. Vol. 36, № 2–3. P. 113–132.
3. Kamilaris A., Prenafeta-Boldú F. X. Deep learning in agriculture : A survey // *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018. Vol. 147. P. 70–90.
4. Lowenberg-DeBoer J., Erickson B. Setting the record straight on precision agriculture adoption // *Agronomy Journal*. 2019. Vol. 111, № 4. P. 1552–1569.

Діденко С.І.,
здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
Лапенко Г.О.,
канд. техн. наук, доцент, професор кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: grygorii.lapenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОСНОВНІ ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ В НАЙБЛИЖЧІ РОКИ

Виставка Agritechnica 2025 є однією з найбільших міжнародних подій у сфері сільськогосподарської техніки та інновацій. Вона проходила у виставковому центрі Messe Hannover на території понад 400 000 м² та об'єднала понад 20 павільйонів і відкриті демонстраційні майданчики. Захід тривав з 9 по 15 листопада 2025 року та зібрав тисячі учасників і відвідувачів з усього світу. Завдяки українській делегації мені також вдалося відвідати цю виставку та ознайомитися з найсучаснішими досягненнями світової аграрної техніки безпосередньо на місці проведення заходу [1].

У межах виставки були представлені ключові напрями розвитку аграрного сектору: трактори, комбайни, ґрунтообробна техніка, посівні комплекси, дрони, робототехніка, цифрові платформи та рішення для точного землеробства. Agritechnica дозволяє побачити повний цикл створення агротехніки — від ідеї до практичного застосування в полі. Основною концепцією виставки стало гасло «Touch Smart Efficiency», що означає перехід до розумної ефективності. Це включає використання цифрових технологій, автоматизацію процесів, застосування штучного інтелекту та оптимізацію використання ресурсів. Особливу увагу було приділено технологіям штучного інтелекту та комп'ютерного зору. Компанії Bosch та Raven представили системи, які дозволяють техніці розпізнавати рослини, визначати їх стан та автоматично виконувати обробку. Це дає можливість значно зменшити витрати добрив і засобів захисту рослин [2, 3].

У виставці взяли участь близько 2800 компаній, які продемонстрували сучасні рішення для аграрного виробництва. Серед них такі відомі бренди, як CLAAS, John Deere, Fendt, Case IH, New Holland, Amazone та Horsch.

Однією з найбільш інноваційних розробок став комплекс NEXAT + Seedhopper. Це універсальна модульна система, яка дозволяє виконувати декілька операцій за один прохід: посів, внесення добрив та обробку ґрунту. Така технологія значно підвищує ефективність роботи та зменшує витрати.

Технічні характеристики комплексу включають робочу ширину до 28 метрів, продуктивність до 30 гектарів за годину та економію пального до 30% у порівнянні з традиційною технікою. Це робить його одним із найефективніших рішень у сучасному аграрному секторі [4].

Застосування інноваційних технологій дозволяє значно підвищити продуктивність сільського господарства. Машина з системами штучного інтелекту працюють швидше, точніше та економніше, що забезпечує конкурентні переваги для аграрних підприємств.

Таким чином, Agritechnica 2025 підтвердила, що майбутнє аграрної галузі пов'язане з автоматизацією, цифровізацією та впровадженням екологічно чистих технологій. Використання сучасної техніки дозволяє підвищити ефективність виробництва та забезпечити сталий розвиток сільського господарства.

Список використаних джерел

1. Офіційний сайт виставки Agritechnica. – Режим доступу: <https://www.agritechnica.com> (дата звернення: 12.05.2026).
2. Bosch Engineering. Інновації у сільському господарстві. – Режим доступу: <https://www.bosch.com>(дата звернення: 12.05.2026).
3. Raven Industries. Технології точного землеробства. – Режим доступу: <https://ravenind.com>(дата звернення: 12.05.2026).
4. NEXAT GmbH. Офіційний сайт. – Режим доступу: <https://www.nexat.de>(дата звернення: 12.05.2026).



Келемеш А.О.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: anton.kelemesh@pdau.edu.ua

Ляшенко С.С.,

здобувачка вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: sofiiia.liashenko@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНІЧНОЇ СКЛАДОВОЇ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ У СИСТЕМІ СТАЛОГО УПРАВЛІННЯ ВІДХОДАМИ В УМОВАХ КП «ЕФЕКТ» РЕШЕТИЛІВСЬКОЇ МІСЬКОЇ РАДИ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Сучасні виклики, пов'язані з накопиченням твердих побутових відходів та необхідністю відновлення інфраструктури України, зумовлюють потребу у впровадженні ефективних технологій сталого управління відходами. Особливого значення набуває перероблення органічної складової твердих побутових відходів, оскільки саме ця фракція формує значну частину загального обсягу сміття та має високий потенціал для подальшого використання у вигляді компосту, біопалива або вторинної сировини [1-4]. У зв'язку з цим актуальним є дослідження процесів подрібнення органічної маси як важливого елемента сучасних технологій поводження з відходами.

На прикладі КП «Ефект» Решетилівської міської ради Полтавської області проведено аналіз існуючої системи поводження з органічними побутовими відходами та визначено основні проблеми технологічного процесу їх перероблення. Встановлено, що недостатня ефективність подрібнення органічної фракції призводить до ускладнення подальших процесів компостування, збільшення тривалості біологічного розкладання та підвищення витрат на транспортування і складування відходів [5, 6]. У результаті досліджень обґрунтовано доцільність використання модернізованого подрібнювального обладнання для інтенсифікації процесів механічної підготовки органічної сировини.

Проведені експериментальні дослідження показали, що зменшення розмірів частинок органічної маси сприяє підвищенню рівномірності структури матеріалу, покращенню аерації та прискоренню процесів біодеструкції. Встановлено раціональні параметри роботи подрібнювального обладнання, які забезпечують оптимальне співвідношення між продуктивністю, енерговитратами та якістю подрібнення. Особливу увагу приділено впливу конструктивних параметрів робочих органів на однорідність фракційного складу та стабільність технологічного процесу.

За результатами досліджень розроблено практичні рекомендації щодо впровадження удосконаленої технології подрібнення органічної складової

твердих побутових відходів у виробничих умовах КП «Ефект» Решетилівської міської ради Полтавської області. Запропоновані технічні рішення дозволяють підвищити продуктивність процесу перероблення, знизити енерговитрати та покращити екологічні показники діяльності підприємства. Впровадження результатів досліджень у виробництво сприятиме зменшенню обсягів захоронення відходів, підвищенню ефективності використання органічної сировини та розвитку елементів циркулярної економіки на місцевому рівні.

Таким чином, удосконалення технології подрібнення органічної складової твердих побутових відходів є важливим напрямом підвищення ефективності системи сталого управління відходами в умовах післявоєнного відновлення інфраструктури України. Реалізація запропонованих технічних і організаційних рішень забезпечує покращення екологічної безпеки, раціональне використання ресурсів та підвищення ефективності функціонування комунальних підприємств.

Додатково впровадження модернізованих технологій механічного подрібнення органічних відходів сприятиме зменшенню обсягів їх захоронення на полігонах, інтенсифікації процесів біологічної переробки та підвищенню ефективності виробництва вторинної сировини й органічних добрив. Практичне використання результатів досліджень у діяльності КП «Ефект» Решетилівської міської ради Полтавської області дозволить оптимізувати технологічні процеси поводження з відходами, знизити енерговитрати та покращити санітарно-екологічний стан територіальних громад.

Водночас впровадження елементів ресурсозберігаючих і енергоефективних технологій створює передумови для розвитку локальної циркулярної економіки, підвищення рівня екологічної відповідальності та адаптації комунальної інфраструктури до сучасних вимог сталого розвитку. Отримані результати можуть бути використані як науково-практична основа для подальшого вдосконалення систем перероблення органічних відходів у громадах України.

Список використаних джерел

1. Гринчук М. І. Управління відходами у контексті євроінтеграції України. Економіка та суспільство, 2023. URL:<https://economyandsociety.in.ua>
2. Закон України «Про відходи» від 05.03.1998 №187/98-ВР. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/187/98-%D0%B2%D1%806>.
3. Закон України «Про управління відходами» №2320-ІХ від 20.06.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20>
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» №1264-ХІІ. URL:<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12>
5. Залознова Ю. С., Гармаш А. О. Інноваційні технології усфері ТПВ. Проблеми економіки, 2020. URL: <https://www.problecon.com>
6. КП «КП «Ефект» Решетилівської міської ради Полтавської області». Пояснювальна записка до проекту змін до фінансового плану комунального підприємства «ЕФЕКТ» Решетилівської міської ради Полтавської області на 2023 рік. URL: https://reshetrada.golos.net.ua/?p=proekty_rishen&sp=print_proekt&id=1250

Рожко І. І.

доктор філософії, доцент, доцент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,

Інтересний О. А.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ МЕХАНІЗАЦІЇ ЛУЩЕННЯ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА В УКРАЇНІ

Механізація післязбиральної обробки та переробки сільськогосподарської продукції є одним із важливих напрямів підвищення ефективності агропромислового виробництва. Особливого значення це питання набуває для переробки волоського горіха (*Juglans regia L.*), оскільки якість лушення безпосередньо впливає на вихід цілого ядра, товарність продукції та її ринкову вартість.

Волоський горіх є цінною харчовою та експортно орієнтованою культурою. Водночас ефективність його промислової переробки значною мірою обмежується складністю механічного відокремлення ядра від шкаралупи без його пошкодження. У зв'язку з цим актуальним є аналіз сучасного стану технічного забезпечення процесу лушення та визначення перспективних напрямів його вдосконалення.

Метою публікації є узагальнення сучасного стану механізації лушення волоського горіха в Україні та визначення основних технологічних чинників, що впливають на якість отримання ядра.

В Україні горіхівництво має значний потенціал розвитку [1], однак рівень технічного забезпечення підприємств залишається нерівномірним. Великі переробні підприємства поступово впроваджують автоматизовані або напівавтоматизовані технологічні лінії, тоді як у малих і середніх господарствах часто використовуються машини низької продуктивності з істотною часткою ручної праці. Це знижує стабільність якості готової продукції та підвищує її собівартість.

Раціональна технологічна схема переробки волоського горіха передбачає очищення, калібрування, лушення, аспірацію, сепарацію та сортування ядра. Водночас ефективність процесу лушення залежить від розміру та форми горіха, товщини й міцності шкаралупи, вологості сировини, сортових особливостей, а також конструкції робочих органів машини. Для лушення застосовують валкові, дискові, роторні, ударні, конусні та комбіновані горіхоколи. Машини, що забезпечують кероване стискання плоду, дають змогу зменшити подрібнення ядра та підвищити вихід якісних фракцій [2, 3, 4].

Конусні та комбіновані горіхоколи мають перевагу завдяки більш рівномірному прикладанню зусилля до плоду. За умови якісного калібрування сировини та правильного налаштування робочого зазору вони можуть

забезпечувати вищий вихід цілих або великих фракцій ядра порівняно з обладнанням ударної дії [5, 6]

Після луцення утворюється суміш ядра, шкаралупи, перегоронок і дрібних домішок. Для її розділення використовують аспіраційні та сепараційні системи, дія яких ґрунтується на відмінностях у масі, розмірах і аеродинамічних властивостях частинок. Подальше сортування ядра здійснюється за розмірами, кольором і якістю. На сучасних підприємствах дедалі ширше застосовують фотосепаратори, які дають змогу автоматизувати відокремлення дефектних фракцій, залишків шкаралупи та сторонніх домішок [7, 8].

Український ринок технічних засобів для переробки волоського горіха представлений обладнанням різного рівня складності: від засобів малої механізації до комплексних технологічних ліній. Водночас актуальними залишаються проблеми адаптації машин до сортових особливостей горіха, зменшення енерговитрат, підвищення точності налаштування робочих органів і зниження частки ручної праці.

Перспективними напрямками розвитку механізації луцення волоського горіха є впровадження адаптивних робочих органів, автоматизоване регулювання робочого зазору, удосконалення систем калібрування, аспірації та сепарації, а також застосування оптичного сортування й цифрового контролю якості продукції.

Механізоване луцення волоського горіха є важливою складовою технічного забезпечення агропромислового виробництва. Якість цього процесу визначається фізико-механічними властивостями сировини, рівнем попереднього калібрування та конструктивними особливостями обладнання. Найбільш ефективними є технічні рішення, що забезпечують кероване стискання плоду й мінімальне пошкодження ядра. Подальше вдосконалення процесу доцільно спрямовувати на автоматизацію регулювання робочих параметрів машин, підвищення ефективності аспіраційно-сепараційних систем, упровадження оптичного сортування та адаптацію обладнання до сортових особливостей волоського горіха.

Список використаних джерел

1. Моторнюк У. І., Муха К. В. Експортний потенціал волоського горіха України: проблеми формування та перспективи розвитку. *Збалансоване природокористування*. 2022. №3. С. 78-87. DOI: <https://doi.org/10.33730/2310-4678.3.2022.268165>
2. Temov B., Nurakhmetov B., Askarov A., Nurakhmetov I., Nasrullin G. Identifying patterns of walnut shell fracture under combined loading in a reciprocating millstone system. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2026, 2(11 (140)). PP. 6 – 18. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2026.358671>
3. Bao X., Chen B., Dai P., Li Y., Mao J. Construction and Verification of Spherical Thin Shell Model for Revealing Walnut Shell Crack Initiation and Expansion Mechanism. *Agriculture*. 2022, 12 (9). PP. 1446. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091446>

4. Zhang H., Shen L., Lan H., Li Y., Liu Y., Tang Y., Li W. Mechanical properties and finite element analysis of walnut under different cracking parts. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2018, 11 (6). PP. 81–88. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181106.3309>
5. Koyuncu M. A., Ekinici K., Savran E. Cracking Characteristics of Walnut. *Biosystems Engineering*. 2004, 87 (3). PP. 305–311. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2003.11.001>
6. Altuntas E., Erkol M. The Effects of Moisture Content, Compression Speeds, and Axes on Mechanical Properties of Walnut Cultivars. *Food and Bioprocess Technology*. 2009, 4 (7). PP. 1288–1295. <https://doi.org/10.1007/s11947-009-0283-y>
7. Shahbazi F. Effective conditions for extracting higher quality kernels from walnuts. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*. 2013, 5 (3). PP. 199–206. <https://doi.org/10.3920/qas2011.0105>
8. Zhang H., Liu H., Zeng Y., Tang Y., Zhang Z., Che J. Design and Performance Evaluation of a Multi-Point Extrusion Walnut Cracking Device. *Agriculture*. 2022, 12 (9). PP. 1494. <https://doi.org/10.3390/agriculture12091494>



Антонець А. В.канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: anatolii.antonets@pdau.edu.ua**Арендаренко В. М.**канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: volodymyr.arendarenko@pdau.edu.ua*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

КАСКАДНА ГРАВИТАЦІЙНА УСТАНОВКА КОНТРОЛЬОВАНОГО РУХУ ЗЕРНА З ТРЬОМА РЕГУЛЬОВАНИМИ ПЕРЕСИПНИМИ ПОЛИЦЯМ

При зберіганні зерна на елеваторних комплексах застосовують високі металеві силоси з плоскою бетонною основою. Однією з актуальних проблем є зменшення пошкодження зерна під час його завантаження в силоси, оскільки травмування зернової маси призводить до втрат під час зберігання [5]. Ефективним способом вирішення цієї проблеми може стати використання гравітаційної каскадної установки, яка забезпечує контрольовану швидкість переміщення зерна завдяки трьом пересипним полицям із регульованими кутами нахилу.

Для дослідження процесу переміщення зерна трьома пересипними полицями була запропонована принципова схема каскадної установки,

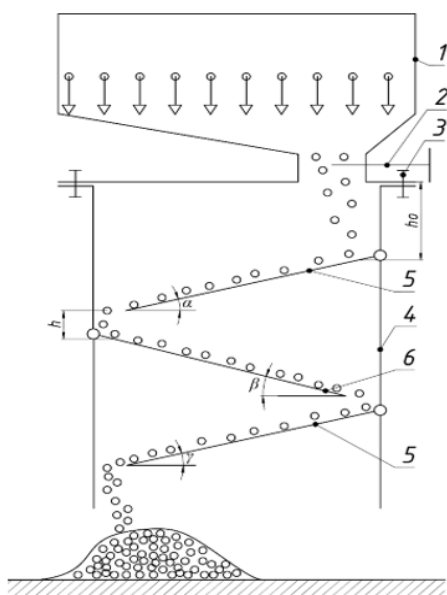


Рис. 1. Схема каскадної гравітаційної установки з трьома полицями

призначеної для контрольованого завантаження зерна у силоси (рис. 1). Конструкція установки включає бункер 1, заслінку 2, кріплення 3 та металевий корпус 4 у формі паралелепіпеда. Усередині корпусу шарнірно закріплені три пересипні полиці 5 і 6 довжиною l , кути нахилу яких становлять α , β та γ відповідно [1-3].

Для зниження рівня травмування зерна необхідно забезпечити такі умови, за яких кінцева швидкість руху буде дорівнювати його початковій швидкості на вході [1, 4]. Для полегшення обчислень вважатимемо ці швидкості рівними.

Аналітична модель (1) дозволяє визначати співвідношення між кутами нахилу β і γ другої та третьої полиць залежно від кута нахилу α першої пересипної полиці з метою забезпечення рівності початкової та кінцевої швидкостей руху зернової маси [1, 6]. Модель враховує початкову висоту

падіння зерна h_0 , відстань між полицями h , довжину полиць l , а також коефіцієнт тертя μ між зерном та поверхнею полиць.

Дослідження виконувалися за таких умов: висота падіння $h=0,2$ м; довжина всіх полиць l ; початкова висота падіння $h_0=0,3$ м; кути нахилу полиць $\beta \leq \alpha$, $\gamma \leq \alpha$. Як змінні фактори було обрано кут нахилу α першої полиці та довжину полиць l . При цьому значення кута α змінювалися в межах $45-75^\circ$, а довжина полиць приймалася у діапазоні $0,3-1,3$ м. Максимальна зміна кута β не перевищує $0,59^\circ$. Водночас різниця кута γ для різних діапазонів може перевищувати 10° [1].

$$\left\{ \begin{array}{l} \beta = 2 \arctg \left(\frac{-a + \sqrt{a^2 + (\mu^2 l^2 - b^2)}}{\mu l - b} \right) + 2\pi k \\ a = (h_0 + l) \sin^2 \alpha - \mu l \sin \alpha \cos \alpha + h + l \\ b = \frac{4}{9} (h_0 \sin \alpha + l \sin \alpha - \mu l \cos \alpha) \\ \gamma = 2 \arctg \left(\frac{-c + \sqrt{c^2 + (\mu^2 l_2^2 - d^2)}}{\mu l_2 - d} \right) + 2\pi k \\ c = \frac{4}{9} (h_0 + l) \sin \alpha \sin \beta - \frac{4}{9} \mu l \cos \alpha \sin \beta + h + l \\ d = h_0 \end{array} \right. \quad (1)$$

Запропонована принципова схема та математична модель переміщення зерна трьома пересипними полицями гравітаційної каскадної установки дає змогу визначати залежність кутів нахилу другої та третьої полиць від кута нахилу першої полиці. Модель також враховує коефіцієнт тертя між зерною масою і поверхнею полиць, відстань між полицями, їх довжину та початкову висоту падіння зерна.

Список використаних джерел

1. Антонєць А.В., Іванов О.М., Кучеренко С. В., Ярошенко Б.М. Дослідження контрольованого руху зерна по трьом регульованим полицям каскадної установки. *ВІСНИК ХНТУ*. 2025. № 2(93). Ч.1. С. 18-24. DOI: <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.2.1.2>
2. Мельник В. І., Самойленко Т. В. Аналіз напрямків удосконалення конструкції пристроїв для завантаження силосів. *Інженерія природокористування*. 2018. 1 (9). С. 83-91.
3. Antonets A., Arendarenko V., Ivanov O., Dudnikov I., Liashenko S. Development of an analytical model of the controlled movement of grain material on the bulk shelves of a loading-gravity-cascade unit. *Technology Audit and Production Reserves*. 3(1(83)). 2025. 13–19. DOI: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.330574>

4. Arendarenko V., Samoilenko T., Ivanov O., Ryzhkova T. Results of experimental research on the distribution of a falling grain from a toro-shaped plate on a flat surface. *Scientific Progress & Innovations*. 2023. 26 (1). С. 96–101. DOI: 10.31210/spi2023.26.01.15.

5. Chen Z., Wassgren C., Ambrose K. A Review of Grain Kernel Damage: Mechanisms, Modeling, and Testing Procedures. *Transactions of the ASABE*. 2020. 63(2). 455–475. DOI: <https://doi.org/10.13031/trans.13643> .

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



Мовчан Д.А.,

аспірант кафедри агроінженерії та технічного сервісу
e-mail: d.movchan96@gmail.com

Холодюк О.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та технічного сервісу,
e-mail: holodyk76@ukr.net

*Вінницький національний аграрний університет,
м. Вінниця, Україна*

ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ЗНАРЯДЬ ДЛЯ ПОШАРОВОГО РОЗПОДІЛУ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Патентний огляд знарядь для внесення мінеральних добрив є важливим елементом науково-технічних досліджень, оскільки дозволяє системно оцінити рівень сучасних технологічних рішень та визначити тенденції розвитку сільськогосподарської галузі. Аналіз патентів дає змогу виявити прогалини у наявних конструкціях, визначити ступінь новизни майбутніх розробок і уникнути дублювання існуючих технічних рішень. Крім того, патентний огляд допомагає встановити конкурентне середовище, визначити провідних розробників та оцінити потенційні можливості комерціалізації нових агрегатів для внесення мінеральних добрив. Усе це робить патентні дослідження невід’ємною складовою процесу створення ефективних, більш продуктивних та технологічно обґрунтованих машин для сучасного землеробства.

Патентний огляд дозволяє простежити еволюцію технічних рішень у сфері внесення мінеральних добрив – від класичних машин до сучасних комплексних агрегатів із можливістю точного дозування, пошарового внесення та інтеграції з системами точного землеробства. Такий аналіз дає змогу оцінити ефективність застосування різних конструкційних підходів, технологічних схем та матеріалів. На основі патентної інформації формуються передумови для розроблення інноваційних знарядь, які відповідають актуальним агротехнічним вимогам, забезпечують оптимальне використання ресурсів і сприяють підвищенню продуктивності аграрного виробництва.

Виклад основного матеріалу. Пошарове внесення добрив вважається одним із найбільш ефективних способів удобрення, оскільки забезпечує оптимальні умови для росту культур та підвищує коефіцієнт використання поживних речовин. Такий метод усуває потребу в додаткових операціях із загортання добрив у ґрунт, а також зменшує їх втрати внаслідок випаровування та вимивання опадами.

Аналізуючи патентний склад у сфері знарядь для внесення мінеральних добрив, можна відзначити значну різноманітність технічних рішень. Їх доцільно розділити на знаряддя для внесення мінеральних добрив відвальним методом (за допомогою плуга) та безвідвальним - із використанням культиваторів або глибокорозпушувачів. Що стосується першого варіанта [1], то тут варто виділити

конструкцію, яку запропонували Бендера І. М., Дячук А. П. та Василич М. А., а саме комбінований корпус плуга для основного обробітку ґрунту і внесення мінеральних добрив.

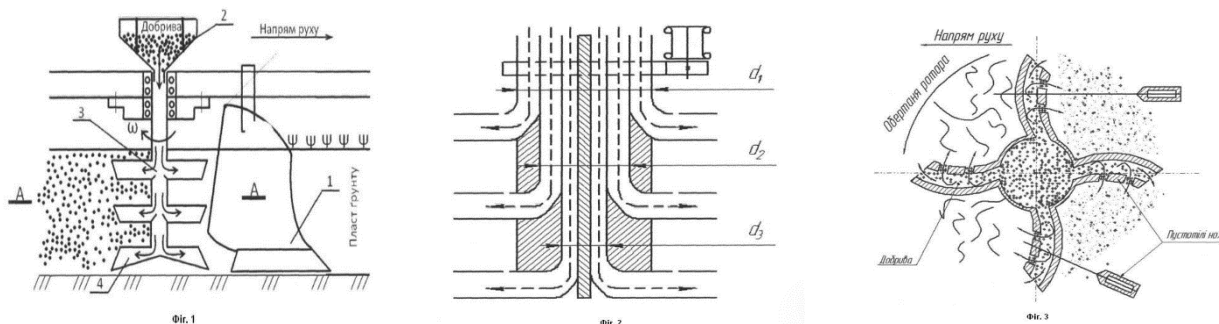


Рисунок 1 – Комбінований корпус плуга для основного обробітку ґрунту і внесення мінеральних добрив

Принцип роботи полягає в підрізанні та підніманні скиби ґрунту з одночасним її подрібненням ротором. Добрива з висівного апарата подаються через окремі канали до ножів, розміщених на різних рівнях, що забезпечує їх пошарове внесення у ґрунт.

До недоліків конструкції належать складність, висока вартість та обмежена ефективність у посушливих умовах.

Іншим прикладом [2] є агрегат для внесення добрив у ґрунт, розроблений Тарасенком В. В. Він включає раму, бункер із дозуючим механізмом, тукопроводи та вертикальні ножі зі ступінчастим формувачем потоку. Добрива розподіляються через систему лотків і розподільну камеру, що забезпечує їх рівномірне внесення по висоті щілини.

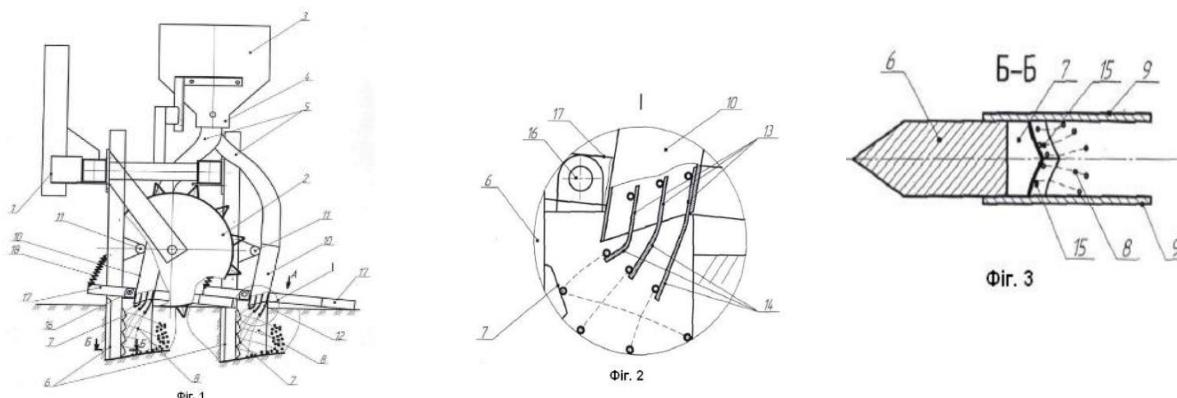


Рисунок 2 – Агрегат для внесення добрив у ґрунт

Перевагами агрегату є підвищення якості внесення, зменшення тягового опору та покращення заробки ґрунту. Недоліками є вузька спеціалізація (виконує лише внесення добрив) і складність конструкції, що підвищує його вартість.

Різноглибинне внесення мінеральних добрив є перспективним підходом до підвищення ефективності агровиробництва. Завдяки оптимальному розташуванню добрив у ґрунті, можна значно поліпшити їх використання, зменшити екологічний вплив і підвищити врожайність сільськогосподарських культур. Подальші дослідження та впровадження нових технологій у цій галузі можуть стати запорукою сталого розвитку сільського господарства.

Список використаних джерел

1. Бендера І. М., Дячук А. П., Василич М. А. Комбінований корпус плуга для основного обробітку ґрунту і внесення мінеральних добрив : пат. Україна № 90334. МПК А01В17/00. – № u201313810; заявл. 28.11.2013; опубл. 26.05.2014, Бюл. № 16. <https://iprop-ua.com/inv/bhtmtfbv/> .

2. Тарасенко В. В. Комбінований Агрегат для внесення добрив у ґрунт : пат. Україна № 61470. МПК А01В 3/00. – № u201013962 ; заявл. 23.11.2010 ; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14. – Режим доступу: <https://ua.patents.su/2-61470-kombinovaniij-agregat-dlya-oranki-i-vnesennya-mineralnikh-dobriv.html>



Ляшенко С.В.,
канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОЇ ТРИСКИ У ЯКОСТІ ОРГАНІЧНОГО СУБСТРАТУ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ГУМУСОВОГО ШАРУ ҐРУНТІВ ПОЛТАВЩИНИ

Зниження вмісту гумусу в ґрунтах Полтавщини, інтенсивне використання орних земель та скорочення обсягів внесення органічних добрив зумовлюють необхідність пошуку альтернативних органічних матеріалів для відновлення родючості ґрунтів. У цьому контексті перспективним є використання подрібненої деревини (деревної тріски) як органічного субстрату, що сприяє активізації мікробіологічних процесів у ґрунті та поступовому відтворенню гумусового шару.

Додатково встановлено, що деревна тріска виступає довготривалим джерелом органічного вуглецю, який поступово включається у процеси гуміфікації, забезпечуючи формування стабільних гумусових сполук. Її внесення у ґрунт покращує агрофізичні властивості орного шару, зокрема структуру, щільність та водоутримувальну здатність, що є критично важливим у посушливі періоди вегетації сільськогосподарських культур.

Крім того, використання деревної тріски сприяє зменшенню антропогенного навантаження на агроєкосистеми шляхом утилізації рослинних відходів та зниження обсягів їх спалювання або складування. Це, у свою чергу, позитивно впливає на екологічний стан територій і сприяє впровадженню принципів циркулярної економіки в аграрному виробництві.

У процесі досліджень встановлено, що деревна тріска при внесенні в ґрунт виконує функцію органічного матеріалу з високим вмістом вуглецю, який є джерелом живлення для ґрунтової мікробіоти. Її розкладання здійснюється природним шляхом за участю целюлозоруйнівних мікроорганізмів, що призводить до поступового утворення гумусоподібних сполук. Одночасно відбувається поліпшення фізичних властивостей ґрунту, зокрема структури, пористості та водно-повітряного режиму [1].

Встановлено, що ефективність використання деревної тріски як органічної добавки залежить від її фракційного складу, ступеня подрібнення та співвідношення вуглецю до азоту в ґрунтовій системі. При надмірному внесенні можливе тимчасове зв'язування ґрунтового азоту мікроорганізмами, що супроводжується уповільненням процесів мінералізації, тому доцільним є поєднання тріски з азотовмісними добривами або органічними джерелами азоту.

Результати аналізу показали, що систематичне внесення деревної тріски сприяє підвищенню біологічної активності ґрунтів, стабілізації процесів

гумусоутворення та поступовому відновленню деградованих ґрунтових шарів. Додатково спостерігається покращення агрофізичних показників ґрунту та зниження ризику ерозійних процесів, що є важливим для умов Лісостепової зони України.

Таким чином, використання деревної тріски як органічного матеріалу-структуроутворювача є науково обґрунтованим агроекологічним заходом, спрямованим на відновлення гумусового стану ґрунтів Полтавщини. Запропонований підхід забезпечує поєднання утилізації рослинних відходів із підвищенням родючості ґрунтів та розвитком ресурсозберігаючих технологій землеробства.

Застосування подрібненої деревини як органічного субстрату є науково обґрунтованим і екологічно доцільним заходом, спрямованим на відновлення гумусового стану ґрунтів та підвищення їхньої продуктивності в умовах сучасного землекористування.

Список використаних джерел

1. Tymchuk I., Malovanyu M., Holets N. Decreasing anthropogenic pressure on soil microflora by using capsulated fertilizers. *Environmental Problems*. Екологічні проблеми. 2017. Vol. 2, № 2. P. 77–81.



Бабич Я.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет
м.Полтава, Україна*

ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ. ПРОБЛЕМАТИКА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Точне землеробство в Україні в умовах воєнного стану перетворилося з інструменту підвищення прибутку на критично необхідний засіб виживання та економії ресурсів.

Сучасний розвиток аграрного сектору України нерозривно пов'язаний із використанням технологій точного землеробства, основою яких є системи супутникової GPS/GNSS-навігації. Використання навігаційних систем у сільськогосподарській техніці дозволяє забезпечити автоматичне керування агрегатів в технологічних коліях, точне внесення добрив і засобів захисту рослин, контроль перекриттів та оптимізацію польових робіт. Упровадження GPS-навігації сприяє зменшенню витрат пального, підвищенню продуктивності техніки та ефективному використанню матеріально-технічних ресурсів.

В умовах воєнного стану в Україні питання стабільності роботи супутникових навігаційних систем набуло особливої актуальності. Однією з основних проблем є вплив засобів радіоелектронної боротьби, які спричиняють глушіння або спотворення GPS-сигналів у прифронтових та прикордонних регіонах. Це призводить до втрати точності позиціонування, порушення роботи систем автоматичного водіння та виникнення помилок під час виконання технологічних операцій.

Додатковими факторами, що ускладнюють використання GPS-навігації, є перебої електропостачання, пошкодження телекомунікаційної інфраструктури та нестабільність мобільного інтернету, через який передаються RTK-корекції для високоточного позиціонування. За даними сучасних досліджень, навіть короткочасне переривання RTK-сигналу може призвести до похибок позиціонування техніки та зниження точності польових робіт.

Особливої важливості проблема набуває під час проведення посівних робіт, коли від точності руху агрегату залежить рівномірність висіву та ефективність використання посівного матеріалу. Наприклад, при втраті RTK-корекції автоматична система керування може переходити у режим стандартного GPS-позиціонування, де похибка руху збільшується від 2–3 см до 15–30 см [1]. Це призводить до перекриттів або пропусків під час сівби, перевитрати насіння та зниження врожайності. Аналогічні проблеми виникають при диференційованому внесенні добрив і засобів захисту рослин [2].

На практиці аграрні підприємства України змушені адаптуватися до нових умов експлуатації навігаційних систем. Одним із напрямів вирішення проблеми є використання багаточастотних GNSS-приймачів, які одночасно працюють із супутниковими системами GPS, Galileo та BeiDou. Це дозволяє підвищити

стійкість сигналу та частково компенсувати вплив радіоелектронних перешкод [3].

Іншим важливим рішенням є використання систем компенсації втрати RTK-сигналу, зокрема технологій типу xFill та інерціальних навігаційних систем, які дозволяють тимчасово підтримувати точність руху техніки навіть у разі короткочасного зникнення супутникового сигналу [3,4].

У сучасних умовах аграрні підприємства також активно впроваджують телематичні системи моніторингу техніки та локальні RTK-станції. Використання власних базових станцій дозволяє зменшити залежність від зовнішніх мереж корекції та забезпечити стабільніше функціонування систем автоматичного водіння. Крім того, застосування цифрових платформ моніторингу дає можливість оперативно контролювати місцезнаходження техніки, витрати пального та ефективність виконання польових операцій [4].

Важливим аспектом є також підготовка фахівців, здатних працювати в умовах нестабільного функціонування навігаційних систем. Майбутні агроінженери повинні володіти навичками налаштування GPS-обладнання, діагностики помилок позиціонування та адаптації технологічних процесів до умов часткової втрати сигналу. У зв'язку з цим заклади вищої освіти України активно інтегрують у навчальний процес цифрові системи навігації, програмне забезпечення точного землеробства та симуляційні комплекси для моделювання роботи техніки в складних умовах експлуатації.

Отже, використання GPS-навігації на сільськогосподарській техніці в умовах воєнного стану в Україні супроводжується рядом технічних і технологічних викликів, пов'язаних із глушінням сигналів, нестабільністю телекомунікаційної інфраструктури та порушенням роботи RTK-мереж. Водночас впровадження сучасних GNSS-технологій, адаптивних систем навігації, локальних RTK-станцій та цифрових платформ моніторингу дозволяє частково компенсувати негативний вплив воєнних факторів і забезпечити ефективне функціонування аграрного виробництва. Комплексне поєднання інноваційних технічних рішень, сучасних технологій точного землеробства та високого рівня професійної підготовки фахівців створює передумови для подальшої цифрової трансформації агропромислового комплексу України навіть в умовах воєнного стану.

Список використаних джерел

1. Мельник І.І., Гриценко О.В. Використання GPS-навігації в управлінні машинно-тракторними агрегатами. – Київ : Аграрна освіта, 2022. – 214 с.
2. Бондаренко П.С. Системи точного землеробства в аграрному виробництві України // *Техніка і технології АПК*. – 2023. – №4. – С. 15–22.
3. Сидоренко В.М. Цифровізація аграрного сектору та впровадження GNSS-технологій // *Вісник агроінженерії*. – 2024. – №2. – С. 48–55.
4. Сидоренко В. М. Використання телематичних систем і RTK-навігації в сучасному аграрному виробництві. *Техніка і технології АПК*. 2024. № 2. С. 44–51.

Купчук І.М.,
к.т.н., доцент, доцент кафедри
інженерної механіки та технологічних процесів в АПК,
Вінницький національний аграрний університет,
м. Вінниця, Україна

ФОРМУВАННЯ АКТИВНИХ І ПАСИВНИХ ОБЛАСТЕЙ У ПРОЦЕСІ ЗМІШУВАННЯ КОРМОВИХ МАТЕРІАЛІВ

Процеси змішування кормових матеріалів характеризуються складною фізико-механічною природою, що зумовлена взаємодією сипких, когезійних, волокнистих та в'язкопластичних компонентів із різними закономірностями руху та деформаційної реакції [1-3]. За таких умов механічний вплив робочих органів реалізується нерівномірно, унаслідок чого в робочому об'ємі формуються області з різною інтенсивністю деформаційних процесів.

Поряд із зонами активного перемішування існують області зі слабкою циркуляцією матеріалу, у яких переважають локальне ущільнення та обмежений міжчастинковий обмін. Наявність таких пасивних областей призводить до виникнення застійних зон, сегрегації компонентів і погіршення однорідності суміші [2, 4].

Традиційні підходи до оцінювання процесу змішування переважно базуються на інтегральних показниках однорідності, однак не враховують просторову структуру деформаційних процесів у робочому об'ємі змішувача [5]. У зв'язку з цим процес змішування доцільно розглядати як процес формування активних і пасивних областей, співвідношення між якими визначає ефективність гомогенізації кормових матеріалів.

Метою роботи є дослідження закономірностей формування активних і пасивних областей у процесі змішування кормових матеріалів та встановлення їх впливу на ефективність гомогенізації багатоконпонентних сумішей.

Виклад основного матеріалу. У процесі змішування механічна енергія, що передається робочими органами, розподіляється у робочому об'ємі нерівномірно, унаслідок чого в матеріальному середовищі формуються області з різною інтенсивністю деформаційних процесів. У зонах локалізації зсувних деформацій виникають значні градієнти швидкостей та реалізується інтенсивний міжшаровий обмін компонентів, що забезпечує активне перемішування матеріалу. Такі області доцільно розглядати як активні області процесу змішування.

Поряд із цим у робочому об'ємі існують області, у яких інтенсивність деформацій є недостатньою для ефективного перерозподілу компонентів. Для таких областей характерні квазітвердотільне переміщення матеріалу, локальне ущільнення та обмежений міжчастинковий обмін. Унаслідок тривалого існування пасивних областей формуються застійні зони та виникають локальні прояви сегрегації компонентів суміші.

Аналіз процесу змішування показує, що активні області формуються переважно у зонах максимальних градієнтів швидкостей і локалізації зсувних

деформацій. Встановлено, що зі зростанням когезійних і в'язкопластичних властивостей кормових матеріалів частка пасивного об'єму збільшується, а активні області набувають локалізованого характеру. Для волокнистих середовищ характерним є просторове обмеження активних областей унаслідок структурного зачеплення компонентів, тоді як у сипких гранулярних матеріалах активні області мають більш розподілений характер, однак можуть супроводжуватись сегрегаційними процесами, зумовленими відмінностями у розмірах і густині частинок.

Для узагальненого опису процесу доцільно використовувати коефіцієнт активного об'єму:

$$K_a = \frac{V_a}{V},$$

де V_a – об'єм активних областей; V – загальний об'єм матеріалу у змішувачі.

Збільшення значення коефіцієнта K_a відповідає зростанню ступеня залучення матеріалу до процесу деформаційного перемішування та супроводжується підвищенням ефективності гомогенізації суміші. Водночас збільшення частки пасивного об'єму призводить до виникнення застійних зон, локальної сегрегації та погіршення однорідності кормової суміші. За таких умов ефективність процесу змішування доцільно оцінювати не лише за інтегральними показниками однорідності, а й з позицій просторового формування активних і пасивних областей у робочому об'ємі змішувача.

Процес змішування кормових матеріалів характеризується просторовою неоднорідністю деформаційних процесів, унаслідок чого в робочому об'ємі формуються активні та пасивні області. Встановлено, що збільшення когезійних, волокнистих і в'язкопластичних властивостей матеріалу сприяє локалізації активних зон змішування та зростанню частки пасивного об'єму.

Для узагальненого опису процесу запропоновано використовувати коефіцієнт активного об'єму K_a , збільшення якого супроводжується підвищенням ефективності гомогенізації суміші. Отримані результати можуть бути використані як теоретична основа для подальшого дослідження просторової структури процесу змішування кормових матеріалів.

Список використаних джерел

1. Ottino J. M., Khakhar D. V. Mixing and segregation of granular materials. *Annual Review of Fluid Mechanics*. 2000. Vol. 32. P. 55–91. DOI: 10.1146/annurev.fluid.32.1.55.
2. Bonn D., Denn M. M., Berthier L., Divoux T., Manneville S. Yield stress materials in soft condensed matter. *Reviews of Modern Physics*. 2017. Vol. 89, № 3. 035005. DOI: 10.1103/RevModPhys.89.035005.
3. Schingoethe D. J. A 100-Year Review: Total mixed ration feeding of dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017. Vol. 100, № 12. P. 10143–10150. DOI: 10.3168/jds.2017-12967.
4. Vegricht J., Miláček P., Ambrož P., Machálek A. Parametric analysis of the properties of selected mixing feeding wagons. *Research in Agricultural Engineering*. 2007. Vol. 53, № 3. P. 85–93. DOI: 10.17221/2123-RAE
5. Behnke K. C. Mixing and uniformity issues in ruminant diets. *Proceedings of the Texas Animal Nutrition Conference*. 1996. P. 5–21.

Nishchakov I.,Assistant of the Department of Agroengineering and Technical Service,
e-mail: ihor956@gmail.com**Lypnytskyi R.,**Assistant of the Department of Agroengineering and Technical Service,
e-mail: lroma5105@gmail.com*Vinnitsia National Agrarian University,
Vinnitsia, Ukraine*

COMPUTER SIMULATION MODELING OF THE PROCESS OF VIBRATIONAL GRINDING OF GRAIN LEGUME RAW MATERIALS IN A VIBRATORY MILL

The modern development of technologies for processing grain and grain legume raw materials requires an increase in the efficiency of mechanical grinding processes, a reduction in specific energy consumption, and the provision of stable quality of the finished product. This issue is especially relevant for soybeans, peas, chickpeas, lupine, and other grain legume crops, which have high nutritional and feed value but are characterized by heterogeneous physical and mechanical properties, different moisture content, a complex grain structure, and varying resistance to destruction.

One of the promising directions for intensifying the grinding process is the use of vibratory mills. In such machines, material destruction occurs as a result of repeated impact, compression, shear, and abrasive interactions between material particles, the grinding medium, and the walls of the working chamber. The efficiency of the process largely depends on the amplitude and frequency of oscillations, the degree of chamber filling, the mass of the grinding medium, the duration of processing, moisture content, and the initial particle size [1].

To model such a process, it is advisable to use the Discrete Element Method (DEM), which makes it possible to reproduce the motion of individual material particles, their collisions, contact forces, friction, movement within the working chamber, and interaction with grinding bodies. This approach is widely used to analyze the behavior of bulk materials, grain, seeds, and other dispersed media in agricultural and processing machines [2]. The advantage of DEM modeling is the possibility of studying internal processes in the working chamber without conducting a large number of physical experiments, which is especially important at the stage of equipment design and optimization.

The main input parameters of the simulation model are the vibration frequency, amplitude, geometry of the working chamber, its filling coefficient, mass of the grinding medium, and the physical and mechanical properties of grain legume raw materials, in particular moisture content, density, friction coefficients, and restitution coefficients during collisions. For soybeans and other grain legume crops, moisture content is of particular importance, as it affects the brittleness of the grain, resistance to destruction, the formation pattern of fine fractions, and the overall energy intensity of the process [3].

In the modeling process, it is advisable to analyze not only the degree of grinding but also the specific energy consumption, uniformity of the particle-size distribution, proportion of the target fraction, and intensity of impact interaction in the working chamber. This makes it possible to determine not merely the maximum grinding level, but a rational operating mode in which the required product particle size is achieved without excessive overgrinding and unnecessary energy consumption.

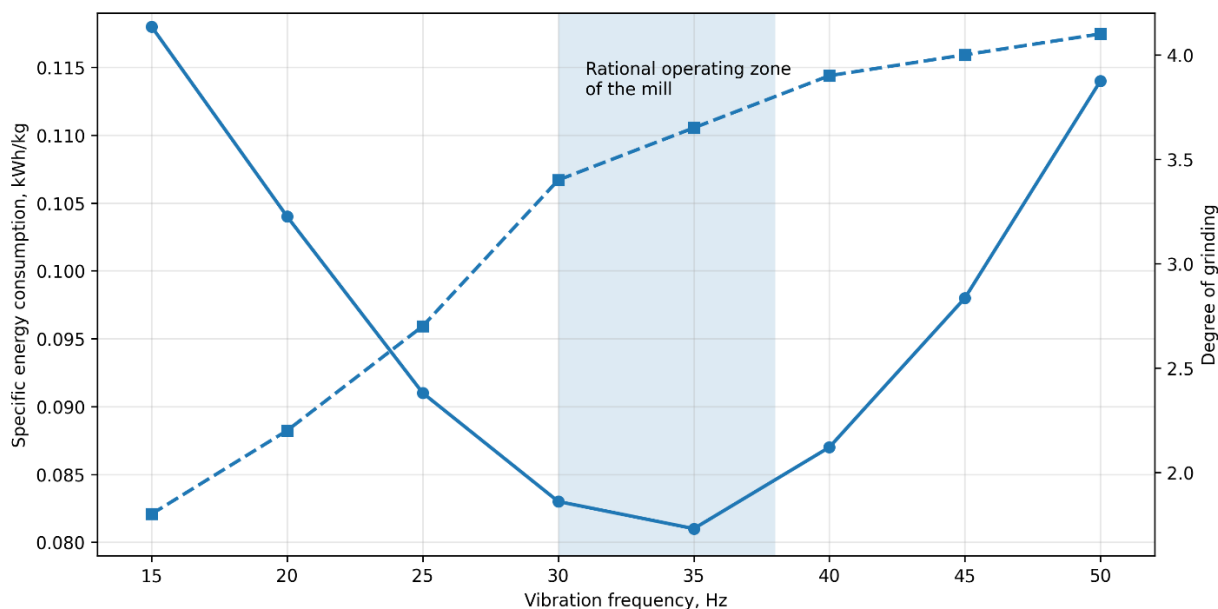


Fig. 1 – Effect of vibration frequency on the efficiency of vibrational grinding of grain legume raw materials

Analysis of the graphical relationship shows that, with an increase in vibration frequency, the degree of grinding increases, as the number and intensity of contacts between material particles and grinding bodies increase. At the same time, the specific energy consumption initially decreases because the destruction process becomes more intensive and efficient; however, after reaching a certain rational zone, it begins to increase. This is explained by the fact that an excessive increase in frequency causes higher energy consumption, intensive mixing, heating of the material, and the formation of an excessive amount of dust-like fraction.

The most efficient approach is not the maximum increase in vibration frequency or amplitude, but the selection of an optimal combination of parameters that ensures the required degree of grinding with minimum specific energy consumption. For grain legume raw materials, this is especially important, since excessive grinding can deteriorate the flowability of the material and complicate its subsequent dosing and mixing.

The development of a computer simulation model makes it possible to determine the zones of intensive material destruction, assess the influence of the mill's design parameters, predict the particle-size distribution of the product, and substantiate rational operating modes of the equipment.

References

1. Tomach P., Gawenda T., Saramak D., Foszcz D. The Influence of the Grinding Media Diameter on Grinding Efficiency in a Vibratory Ball Mill. *Materials*. 2024. Vol. 17, No. 12. Article 2924. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma17122924>
2. Maraveas C., et al. Agricultural processes simulation using discrete element method: a review. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2025. Vol. 237, Article 110733. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2025.110733>
3. Jung H., Yoon W. B. Determination and Validation of Discrete Element Model Parameters of Soybeans with Various Moisture Content for the Discharge Simulation from a Cylindrical Model Silo. *Processes*. 2022. Vol. 10, No. 12. Article 2622. DOI: <https://doi.org/10.3390/pr10122622>

Голованюк А. Б.,

аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії
e-mail: holovaniuk_andrii@ukr.net

*Вінницький національний аграрний університет,
м. Вінниця, Україна*

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОЇ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

Соя є однією з найважливіших зернобобових культур у світовому та вітчизняному агропромисловому виробництві завдяки високому вмісту білка й олії, а також широкому використанню у харчовій, кормовій і переробній галузях. В умовах сучасного сільського господарства особливого значення набуває забезпечення високої якості насінневого матеріалу, оскільки від його стану залежать польова схожість, продуктивність рослин та економічна ефективність виробництва. Одним із ключових етапів післязбиральної обробки є зберігання насіння, під час якого можуть відбуватися зміни його фізичних, біохімічних і посівних властивостей. На збереження якості насіння сої суттєво впливають вологість, температура, тривалість зберігання та технологічні умови доробки. Недотримання оптимальних режимів зберігання призводить до активізації процесів самозігрівання, розвитку мікроорганізмів, зниження схожості та погіршення господарсько-цінних показників насіння. У зв'язку з цим актуальним є дослідження технологічних аспектів забезпечення якості насіння сої під час зберігання та вдосконалення методів контролю умов зберігання. Застосування сучасних технологій очищення, сушіння, вентилявання та моніторингу стану насіння сприяє мінімізації втрат і збереженню його посівних властивостей [1].

Метою роботи є аналіз технологічних факторів, що впливають на якість насіння сої під час зберігання, та визначення ефективних способів забезпечення його збереженості.

У результаті проведених досліджень встановлено, що якість насіння сої значною мірою залежить від умов та тривалості зберігання. Визначено, що за дотримання оптимальних параметрів вологості та температури насіння зберігає

високі показники схожості й енергії проростання протягом тривалого періоду. Дослідження показали, що найбільш ефективним для зберігання насіння сої є підтримання вологості на рівні 10–12 % та температури не вище 10–15 °С. За таких умов інтенсивність дихання насіння знижується, уповільнюються біохімічні процеси та зменшується ризик розвитку мікрофлори. Водночас підвищення вологості насіння понад допустимі межі спричиняє активізацію процесів самозігрівання, що негативно впливає на його посівні властивості. У ході досліджень також встановлено, що попереднє очищення та калібрування насіння позитивно впливають на його збереженість. Видалення механічних домішок і пошкоджених зерен забезпечує кращу вентиляцію насипу та знижує ймовірність розвитку грибкових захворювань під час зберігання. Отримані результати підтверджують ефективність застосування сучасних технологічних засобів контролю температури та вологості у сховищах. Використання систем активного вентилявання та періодичного моніторингу стану насіння дає змогу підтримувати стабільні умови зберігання й мінімізувати втрати якості насіннєвого матеріалу. Таким чином, забезпечення оптимальних технологічних умов зберігання є важливим фактором збереження посівних і господарських властивостей насіння сої та підвищення ефективності агропромислового виробництва [2-4].

У результаті проведених досліджень встановлено, що якість насіння сої значною мірою залежить від технологічних умов і тривалості зберігання. Дотримання оптимальних параметрів вологості та температури забезпечує збереження високих показників схожості, енергії проростання та господарської цінності насіння. Визначено, що найбільш ефективними умовами зберігання насіння сої є вологість у межах 10–12% та температура не вище 10–15°С. Перевищення зазначених показників призводить до активізації процесів самозігрівання, розвитку мікрофлори та погіршення посівних властивостей насіння. Доведено, що важливими елементами технологічного забезпечення збереження якості насіння є його попереднє очищення, калібрування, сушіння та застосування систем активного вентилявання. Використання сучасних засобів контролю умов зберігання сприяє мінімізації втрат і підвищенню ефективності агропромислового виробництва.

Список використаних джерел

1. Панцирева Г.В., Волинець Є.О., Борецька Т.Ю., Дмитренко В.П. Конструкційно-енергетичні засади створення інфрачервоного мікронізатора для обробки зернобобових культур. *Вібрації в техніці та технологіях*. 2025. № 3 (118). С. 137–145. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2025-3-16>
2. Панцирева Г.В., Волинець Є.О., Ковальчук В.М. Цінність насіння сої за рахунок інактивації антипоживних речовин. *Аграрні інновації*. 2025. № 32. С. 175-180. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2025.32.25>
3. Панцирева Г.В. Розробка біоорганічної технології вирощування сільськогосподарських культур за використання біодобрив, позакореневих підживлень та фізіологічно-активних речовин. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С.

101-106. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2025.29.17>

4. Pansyryeva H., Kovalchuk V. Research on the influence of biological preparations and organo-mineral fertilizers on soybean growth processes. *Сільське господарство та лісівництво*. 2025. № 3 (38). С. 18-29. DOI:10.37128/2707-5826-2025-3-2

Ковальчук А. В.,

аспірант кафедри землеробства, ґрунтознавства та агрохімії

e-mail: andryuxa9070@gmail.com

*Вінницький національний аграрний університет,
м. Вінниця, Україна*

ТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ ПІД ЧАС ЗБЕРІГАННЯ

Соняшник є однією з провідних олійних культур України, а якість насінневого матеріалу безпосередньо впливає на рівень урожайності та ефективність агропромислового виробництва. У сучасних умовах особливого значення набуває забезпечення збереження посівних і технологічних властивостей насіння під час його доробки та зберігання. Одними з важливих факторів, що визначають якість насіння соняшнику, є його фракційний склад і тривалість зберігання. Різні фракції насіння відрізняються за масою, розмірами, енергією проростання та стійкістю до впливу зовнішніх факторів, що може суттєво позначитися на їхніх посівних якостях у процесі зберігання. Порушення оптимальних умов зберігання призводить до зниження схожості, погіршення фізіологічного стану насіння та втрати його господарської цінності. Тому дослідження технологічних аспектів збереження якості насіння соняшнику різних фракцій є актуальним завданням агроінженерії та технічного забезпечення агропромислового виробництва [1].

Метою роботи є дослідження впливу фракційного складу та термінів зберігання на показники якості насіння соняшнику і визначення ефективних технологічних підходів до його збереження.

Серед технологічних чинників, що впливають на якість насіння соняшнику, важливе значення мають фракційний склад та тривалість зберігання. Під час післязбиральної доробки насіння поділяють на фракції залежно від його розмірів, маси та фізико-механічних властивостей. Великі та вирівняні фракції, як правило, характеризуються вищою масою 1000 насінин, кращою енергією проростання та більшою польовою схожістю, що позитивно впливає на формування майбутнього врожаю [2].

У процесі зберігання в насінні відбуваються фізіолого-біохімічні зміни, інтенсивність яких залежить від вологості, температури, доступу повітря та початкової якості насінневого матеріалу. За підвищеної вологості й температури посилюються процеси дихання насіння, що призводить до втрати сухої речовини, зниження енергії проростання та погіршення посівних властивостей. Особливо чутливими до тривалого зберігання є дрібні та неvirівняні фракції, які

мають нижчу стійкість до несприятливих умов. Для забезпечення високої якості насіння соняшнику важливим є дотримання оптимальних технологічних режимів зберігання [3].

Рекомендована вологість насіння для тривалого зберігання становить 7–8%, а температура – не вище 10–15 °С. Важливу роль відіграють також очищення та калібрування насіння, які дають змогу видалити механічні домішки й пошкоджені насінини, що можуть бути джерелом самозігрівання та розвитку мікрофлори.

Дослідження показують, що насіння великих фракцій краще зберігає посівні якості протягом тривалого періоду порівняно з дрібними фракціями. Це пояснюється вищим вмістом поживних речовин та кращою сформованістю зародка [4].

Тому застосування сучасних технологій сортування, сушіння та контролю умов зберігання є важливим елементом технічного забезпечення агропромислового виробництва. Отже, збереження якості насіння соняшнику залежить від комплексного врахування фракційного складу та дотримання оптимальних умов зберігання. Використання технологічно обґрунтованих методів доробки й зберігання сприяє підвищенню посівних властивостей насіння та ефективності виробництва культури загалом.

У результаті дослідження встановлено, що фракційний склад насіння соняшнику та терміни його зберігання суттєво впливають на показники якості й посівні властивості. Найкращими показниками енергії проростання, схожості та стійкості до зберігання характеризуються великі й вирівняні фракції насіння. Доведено, що тривале зберігання за недотримання оптимальних температурно-вологісних режимів призводить до погіршення фізіологічного стану насіння, зниження його посівних якостей та втрати господарської цінності. Особливо чутливими до негативного впливу умов зберігання є дрібні фракції насіння. Встановлено, що застосування технологічних операцій очищення, калібрування, сушіння та контролю параметрів зберігання забезпечує ефективне збереження якості насіння соняшнику. Використання сучасних технологічних підходів у системі післязбиральної доробки та зберігання сприяє підвищенню ефективності агропромислового виробництва й отриманню високоякісного насіннєвого матеріалу.

Список використаних джерел

1. Tkachuk O., Pansyryeva H., Zelenchuk N., Bondaruk N., Mostovenko V. Resistance of sunflower crops to harmful objects when using growth-stimulating bioproducts in their crops. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. Vol. 26, Issue 4. P. 98-110. <https://doi.org/10.12911/22998993/199816>

2. Дідур І.М., Ткачук О.П., Панцирева Г.В., Циганський В.І. Вплив технологічних прийомів вирощування на забур'яненість посівів соняшнику, сої та кукурудзи на зерно в умовах правобережного Лісостепу України. *Зернові культури*. 2025. Т. 9, № 2. С. 266-271. <https://doi.org/10.31867/2523-4544/0387>

3. Панцирева Г.В. Розробка біоорганічної технології вирощування сільськогосподарських культур за використання біодобрив, позакореневих підживлень та фізіологічно-активних речовин. *Аграрні інновації*. 2025. № 29. С.

101-106. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2025.29.17>

4. Панцирева Г.В. Підвищення продуктивності соняшнику залежно від технологічних прийомів вирощування. *Аграрні інновації*. 2025. № 34. С. 135-138. <https://doi.org/10.32848/agrар.innov.2025.34.19>

Сафтюк Ярослав,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
Вінницький національний аграрний університет
м. Вінниця

ОБҐРУНТУВАННЯ СТРУКТУРИ ІНТЕГРАЦІЇ ДАТЧИКА КОНТРОЛЮ ШКІДЛИВИХ ДОМІШОК У ПАЛИВНУ СИСТЕМУ ТРАКТОРІВ

Якість нафтопродуктів суттєво впливає на надійність і довговічність паливної системи тракторів. У процесі зберігання, транспортування та експлуатації паливо може забруднюватися водою, механічними частинками, смолистими речовинами, сірчистими сполуками та продуктами окиснення. Наявність таких домішок призводить до засмічення фільтрів, зношування паливного насоса високого тиску, порушення роботи форсунок і погіршення процесу згоряння [1, 3].

Особливо небезпечним забруднення палива є для сучасних дизельних систем живлення, зокрема Common Rail, які працюють при високому тиску та мають прецизійні елементи. Тому актуальним є впровадження датчиків контролю шкідливих домішок безпосередньо в паливну систему трактора.

Паливна система трактора включає паливний бак, фільтр грубого очищення, водовідділювач, підкачувальний насос, фільтр тонкого очищення, паливний насос високого тиску, акумуляторну рампу, форсунки та зворотну магістраль. Найбільш чутливими до впливу домішок є паливний насос високого тиску та форсунки, оскільки їх робота залежить від чистоти палива, стабільності тиску та якості розпилювання [2].

Фільтрувальні елементи частково затримують домішки, однак вони не дають оператору інформації про фактичний стан палива. Тому доцільно застосовувати датчик контролю шкідливих домішок, який працює безпосередньо в потоці палива та формує інформаційний сигнал про його якість.

Найбільш раціональним місцем встановлення датчика є ділянка після фільтра тонкого очищення перед паливним насосом високого тиску. У цій зоні паливо вже пройшло основне очищення, але ще не потрапило до найбільш відповідальних елементів системи. Це дозволяє оцінити фактичну якість палива перед його подачею до насоса високого тиску, рампи та форсунок [3].

Запропонована структура інтеграції датчика може бути подана так:

Паливний бак, фільтр грубого очищення /водовідділювач, підкачувальний насос, фільтр тонкого очищення, датчик контролю шкідливих домішок, паливний насос високого тиску, акумуляторна рампа, форсунки, двигун.

Інформаційний сигнал від датчика передається до блока обробки, де здійснюється аналіз отриманих даних. У разі перевищення допустимого рівня домішок інформація може виводитися на панель оператора, активувати систему попередження або передаватися до електронного блока керування трактора.

Таким чином, запропонована структура поєднує паливний та інформаційний контури. Паливний контур забезпечує подачу палива до двигуна, а інформаційний - контроль його стану та своєчасне попередження про небезпечне забруднення.

Обґрунтовано доцільність інтеграції датчика контролю шкідливих домішок у паливну систему тракторів. Встановлено, що найбільш раціональним місцем його встановлення є ділянка після фільтра тонкого очищення перед паливним насосом високого тиску. Таке розміщення дозволяє контролювати фактичний стан палива перед його надходженням до найбільш чутливих елементів паливної апаратури. Запропонована структура забезпечує своєчасне виявлення забруднення, підвищує надійність роботи паливної системи та зменшує ризик відмов двигуна в умовах експлуатації сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

1. Stanik W., Jakóbiec J., Mazanek A. Engine tests for coking and contamination of modern multi-injection injectors of high-pressure fuel supplies compression-ignition engine. *Eksploatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability*. 2018. Vol. 20, No. 1. P. 118–123.
2. Jocanović M., Karanović V., Knežević D., Orošnjak M. Diesel fuel filtration problems with modern common rail injection systems. *Vojnotehnički glasnik*. 2017. Vol. 65, No. 4. P. 968–993.
3. Stępień Z. The influence of particulate contamination in diesel fuel on the damage to fuel injection systems. *Combustion Engines*. 2019. Vol. 177, No. 2. P. 76–82.



Кусков М.А.,
доктор філософії, старший викладач кафедри
надійності та міцності машин і споруд ім. В.Я. Аніловича
e-mail: nikuskov@gmail.com
Державний біотехнологічний університет
м. Харків, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СТІЙКОСТІ РУХУ ТА ЯКОСТІ СІВБИ

Вирощування сільськогосподарських культур включає сукупність взаємозалежних технологічних операцій, які виконуються у певний час і в заданій послідовності. До основних видів сільськогосподарських робіт відносяться: оранка, посів, боронування, луцення, дискування, культивація, коткування, внесення добрив та ін. Кожен вид роботи обумовлюється певними агротехнічними вимогами до якості виконання польових робіт для конкретних сільськогосподарських культур. Агротехнічні вимоги – це технологічний норматив та його допустимі відхилення, що забезпечує максимальну ефективність виконуваного прийому та створює оптимальні умови для проведення наступних механізованих робіт. Мета вимог – досягнення показників, що забезпечують оптимальні умови росту та розвитку рослин або отримання продукції заданої якості за найменших витрат. Вимоги містять перевірені багаторічною практикою показники, що забезпечують необхідну якість робіт. Агротехнічні вимоги містять допустимі норми та допуски за різними показниками для роботи (спосіб і швидкість руху МТА, глибина обробки ґрунту, допустимі перекриття, огріхи та необроблені смуги та ін.). Крім того, агротехнічні вимоги залежать від конкретного агрегату, що використовується для вирощування культури.

До механізованого посіву сільськогосподарських культур пред'являються наступні вимоги. Насіння повинні бути рівномірно розподілені по поверхні поля. Відхилення фактичної норми висіву від зазначеної допускається \pm не більше 3%, а для мінеральних добрив - не більше \pm 10%. Нерівномірність сівби на грядках, тобто роздільними висівними апаратами, не повинна перевищувати 6% для зернових, 10% для зернобобових культур і 20% для трав. Сівалки та інші робочі інструменти не повинні пошкоджувати більше 0,2% насіння зерна і більше 0,7% насіння зернобобових культур. Відхилення глибини розміщення окремих насінин від середніх має становити не більше \pm 15%, що при глибині посіву 3 – 4 см становить \pm 0,5 см, 4 – 5 см – \pm 0,7 см, а на глибині 6 – 8 см \pm – 1 см. Ширина міжрядь швів не повинна відхилятися від ширини основного ряду більш ніж на \pm 5 см. Поворотні смуги висівають відразу після закінчення посіву. Вести посівний агрегат краще з півночі на південь, дотримуючись прямолінійність рядів.

Зернові сівалки повинні висівати насіння зернових, зернобобових, круп'яних та інших культур, насіння яких близьке за розмірами до зернових із заданими нормами висіву. Висівні апарати агрегатів мають забезпечувати норму

висіву пшениці у межах 60 – 260 кг/га, вівса – 100 – 275 кг/га, ячменю – 90 – 350 кг/га, гороху – 8 – 400 кг/га, гречки – 20 – 75 і проса – 15 – 30 кг/га. Відхилення фактичної норми від заданої не повинно перевищувати $\pm 3\%$.

Показники якості: висівні апарати сівалок повинні висівати насіння рівномірно і стабільно. Середня нерівномірність сівби між окремими апаратами не повинна перевищувати 6% для зернових культур, 10% – для зернобобових і 20% – для трав. Насіння при цьому не повинно пошкоджуватись висівними апаратами. Пошкодження насіння зернових культур можливе до 0,2%, а зернобобових – до 0,7%.

Туковисівні апарати зернових сівалок повинні забезпечувати задану норму висіву мінеральних добрив. Можливе відхилення не більше $\pm 10\%$. Нерівномірність висіву добрив між туковисівними апаратами не повинна перевищувати $\pm 10\%$.

Сошники сівалок мають утворювати ущільнене дно борозни, забезпечувати подачу насіння на нього і присипати посівний матеріал вологим шаром ґрунту. Відхилення глибини заробки від заданої норми не повинне перевищувати $\pm 15\%$. За глибини сівби 3 – 4 см це становить $\pm 0,5$ см, у разі 4 – 5 см – $\pm 0,7$, а при 6 – 8 см – ± 1 см. Сівалки повинні забезпечувати задану ширину міжрядь із можливим відхиленням від неї ± 1 см.

Останнім часом в сфері АПК дедалі частіше звучить термін «Точне землеробство» (Precision agriculture). Точне землеробство – це комплексна високотехнологічна система сільськогосподарського менеджменту, що включає технології глобального позиціонування (GPS), географічні інформаційні системи (GIS), технології оцінки врожайності (Yield Monitor Technologies), змінного нормування (Variable Rate Technology), дистанційного зондування землі (ДЗЗ) і спрямована на отримання максимальної кількості якісної та найдешевшої сільськогосподарської продукції без порушення норм екологічної безпеки.

Список використаних джерел

1. Кусков М. А. Коливання тракторів тракторів та сільськогосподарських машин. *XXI-й Міжнародний форум молоді «Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті»*. Збірка матеріалів форуму. Харків: ДБТУ, 2025. С. 233-234.
2. Кусков М. А., Бачура І. А., Ветренко А. Д. Підвищення ефективності експлуатації машинно-тракторного агрегату покращенням динаміки причіпної машини. *Матеріали науково-практичної конференції «Технічний прогрес в АПВ»*, 2024. С. 218 – 220.
3. Бойко Р. В., Кусков М. А., Антощенко Р. В. Розробка та оцінка системи напівактивної підвіски для тракторів. *Молодь і технічний прогрес в АПВ : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., Держ. біотехнол. ун-т, 23-24 листопада 2023 р. Харків, 2023*. С. 321–322



Гладкин І.В.,
здобувач вищої освіти ступеня магістра,
Тіхонов О.В.,
канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
сервісної інженерії та технології матеріалів
в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка,
Рибалко І.М.,
доктор техн. наук, доцент, доцент кафедри
сервісної інженерії та технології матеріалів
в машинобудуванні імені О.І. Сідашенка,
e-mail: kafedraTSRP@i.ua
*Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна*

ПЕРСПЕКТИВНИЙ МЕТОД ВІДНОВЛЕННЯ ПОРШНЕВИХ ПАЛЬЦІВ ДВЗ

У ході дослідження особливостей застосування електрогідравлічного методу з'ясовано, що він вважається досить перспективним напрямком для ремонту поршневих пальців двигунів внутрішнього згорання. Завдяки цій технології можна відновлювати такі деталі для будь-яких типів моторів, незалежно від вихідного матеріалу пальця чи конфігурації його внутрішнього перерізу.

Суть методу полягає в наступному: якщо всередині рідкого середовища (у відкритій або закритій ємності) створити спеціальним чином сформований імпульсний електричний розряд – іскровий, кистьовий тощо, – то навколо зони виникнення розряду генеруються надвисокі гідравлічні тиски. Ці тиски здатні виконувати корисну механічну роботу і супроводжуються низкою фізичних явищ.

Саме існування електрогідравлічного ефекту зумовлено тим, що енергія порівняно повільно накопичується в джерелі живлення, а потім виділяється в рідині майже миттєво. Ключову роль тут відіграють високі (аж до надвисоких) імпульсні гідравлічні тиски.

Незалежно від того, для обробки яких саме об'єктів призначене технологічне устаткування, загальна принципова схема електрогідравлічної установки залишається типовою (див. рис. 1).

Поршневі палець є складовою кривошипно-шатунного механізму (КШМ). Він має циліндричну геометрію та виконує роль осі, навколо якої повертається шатун у зоні з'єднання з поршнем. Завдяки цій деталі реалізується рухоме шарнірне сполучення між поршнем і головкою шатуна. Усі поршневі пальці для двигунів внутрішнього згорання мають подібну конструкцію – це порожнистий циліндр із зносостійкою зовнішньою поверхнею. Відмінності між ними зумовлені геометричними розмірами, застосованим матеріалом та обраним режимом термічної обробки.

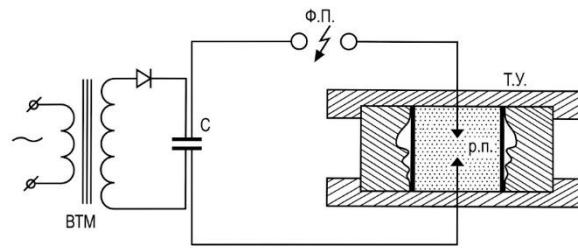


Рисунок 1 – Схема (принципова) установки для генерування деформуючих навантажень на основі електрогідравлічного ефекту: ВТМ – випрямний трансформаторний блок; С – батарея конденсаторів; ФП – пристрій, що формує імпульс; РП – міжелектродний проміжок (робоча зона); ТУ – вузол технологічного призначення

Аналіз мікрорельєфу спрацьованої поверхні поршневих пальців показує, що загалом гладка поверхня містить окремі подряпини завширшки менше 1 мкм. Вони виникають через потрапляння вільних абразивних часток у зону тертя. Поверхня пальця в місцях контакту з втулкою зазвичай має блиск, однак іноді зустрічаються ділянки з легким відтінком кольорів мінливості (перегріву). Як супутній вид зношування тут присутній абразивний знос, який з'являється внаслідок проникнення окремих абразивних частинок між дотичними поверхнями.

Диспергуванню як виду зношування піддаються цементовані та гартовані поршневі пальці (рис. 2), які експлуатувалися в двигуні тривалий час. При цьому ступінь зносу не перевищував допустимих значень, а сама поверхня залишалася гладенькою, без задирів. Відсутні будь-які помітні ознаки перенесення металу з боку спряженої деталі. Згідно з результатами металографічних досліджень, пластична деформація спостерігається лише у дуже тонкому поверхневому шарі. Під мікроскопом видно подряпини, орієнтовані у напрямку руху – це наслідок взаємного проникнення мікронерівностей у зонах контакту поверхонь, що сполучаються.

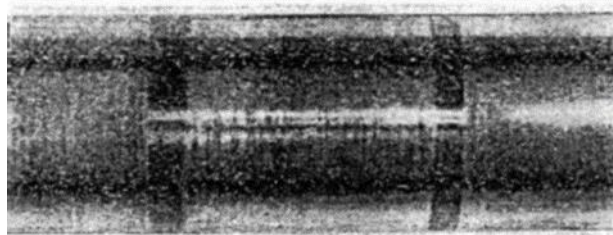


Рисунок 2 – Поршневий палець двигуна внутрішнього згоряння, зношений внаслідок диспергування

Мікрорельєф робочих зон поршневого пальця та деталей, які з ним взаємодіють, формується відповідно до конкретних умов тертя. Це добре ілюструє ділянка переходу від непрацюючої частини (розташованої під отворами бобишок поршня) до тієї, що зношується (знаходиться під верхньою головкою шатуна). На цій перехідній ділянці робоча поверхня вкрита подряпинами, а її мікрорельєф візуально нагадує той, що утворюється під час шліфувальної обробки. Присутність таких подряпин свідчить про те, що в цій зоні тертя

реалізується напівсухий режим, і має місце безпосередній металевий контакт поверхонь, які труться.

Формування гладенької поверхні на поршневому пальці відбувається за рахунок напівсухого тертя разом із граничним мащенням. Коли пара працює в таких умовах, пластична деформація сприяє згладжуванню мікронерівностей, збільшенню реальної площі дотику, зменшенню питомого тиску та створенню кращих передумов для збереження мастильних та окисних плівок між контактуючими поверхнями.

Для збільшення діаметра поршневих пальців застосовують електрогідравлічний ефект (відомий також як ЕГ-ефект або ефект Юткіна). Цей метод виявився високоефективним засобом відновлення, оскільки дає змогу компенсувати зношування шляхом пластичного деформування металу без додаткового нагрівання. Завдяки такій технології зовнішній діаметр пальця можна збільшити до номінальних чи ремонтних розмірів. Технологічний процес передбачає заповнення порожнистої деталі робочою рідиною (водою або оливою) та розміщення всередині електродів, між якими потім пропускають високовольтний електричний розряд. Цей розряд провокує практично миттєве утворення плазми, за яким слідує гідравлічний удар – потужна хвиля надвисокого тиску, що поширюється зсередини назовні. Під дією такого навантаження метал пальця пластично деформується (розтягується), а його діаметр збільшується. Варто зазначити, що приріст внутрішнього діаметра деталей, які відновлюються, є дещо більшим порівняно зі збільшенням зовнішнього діаметра. Наприклад, у випадку роздачі поршневих пальців двигунів ЗІЛ, коли деформація зовнішнього діаметра не перевищує $0,35 \cdot 10^{-3}$ м, внутрішній діаметр зростає на $0,40 \cdot 10^{-3}$ м (див. табл. 1).

Таблиця 1 – Залежність зміни товщини стінки поршневих пальців двигуна ЗІЛ-130 від величини деформації ($\times 10^{-3}$ м)

Переріз	Збільшення зовнішнього діаметра	Збільшення внутрішнього діаметра	Зменшення товщини стінки
1 (бобишка)	0,130	0,15	0,010
2 (втулка)	0,220	0,30	0,040
3 (бобишка)	0,350	0,40	0,025

Аналіз профілограм, отриманих із зовнішньої поверхні поршневого пальця (ПП), показав: якщо деформація відбувається у вільному режимі, то збільшення діаметра не супроводжується помітною зміною профілю зовнішньої сторони деталі (див. рис. 3).

Вивчення стану поршневих пальців свідчить про те, що наявний рівень зношування та їхні геометричні характеристики цілком дозволяють

застосовувати для відновлення метод електрогідравлічної роздачі (скорочено – ЕГР). За допомогою цієї технології можна ремонтувати поршневі пальці незалежно від типу матеріалу, з якого вони виготовлені, а також від товщини їхніх стінок.

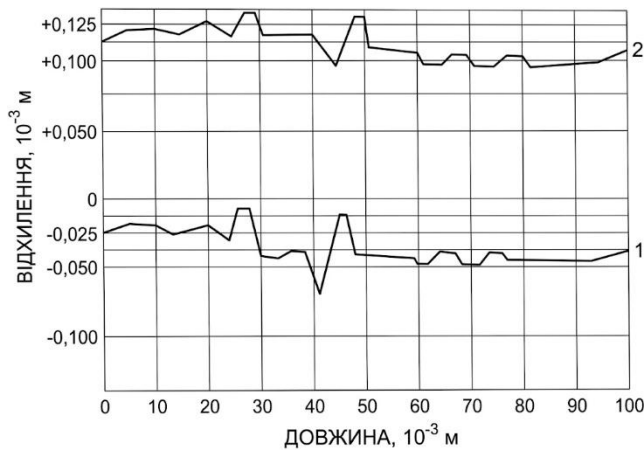


Рисунок 3 – Профілограми, отримані із зовнішньої поверхні поршневого пальця двигуна ЗІЛ-130: крива 1 – стан поверхні до виконання деформаційних впливів; крива 2 – стан поверхні після деформування

Застосування електрогідравлічної роздачі дає змогу відновити геометричну точність поршневих пальців до рівня, передбаченого технічними умовами (допуск у межах від 0,01 до 0,03 мм).

Список використаних джерел

1. Марченко Д.Д. Розробка та дослідження технології роздачі втулок за допомогою електрогідравлічного ефекту при ремонті машин та механізмів. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. Харків, 2018. №11. С. 135-145.
2. Кушнар'ов О.О. Визначення основних параметрів технологічного процесу електрогідравлічної роздачі поршневих пальців. Збірка матеріалів XVII-го Міжнародного форуму молоді «Молодь і сільськогосподарська техніка у XXI сторіччі». Харків: ХНТУСГ, 2021. С. 133.



Валецька О.В.

к.с-г.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Ювчик Н.О.

PhD, доцент кафедри агроінженерії,

Змієвська О.Г.

старший викладач кафедри агроінженерії,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

ТЕХНОЛОГІЇ ВНЕСЕННЯ ДОБРИВ ДЛЯ ЗБАЛАНСОВАНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Сучасний розвиток аграрного виробництва нерозривно пов'язаний із необхідністю забезпечення високої продуктивності сільськогосподарських культур та одночасного збереження природних ресурсів. Одним із найважливіших чинників формування врожайності є система удобрення, оскільки внесення добрив безпосередньо впливає на поживний режим ґрунту, інтенсивність росту рослин і якість сільськогосподарської продукції. Водночас нераціональне застосування мінеральних та органічних добрив може призводити до суттєвих екологічних проблем, серед яких деградація ґрунтів, накопичення залишкових сполук у продукції, забруднення поверхневих і підземних вод, а також порушення екологічної рівноваги агроландшафтів [1, 2].

У сучасних умовах інтенсифікації аграрного виробництва проблема збалансованого природокористування набуває особливої актуальності. Традиційні технології внесення добрив часто характеризуються нерівномірним розподілом поживних речовин, значними втратами добрив унаслідок випаровування, вимивання або поверхневого стоку, а також недостатнім урахуванням агрохімічних особливостей окремих ділянок поля. Це призводить не лише до перевитрат ресурсів, але й до зниження ефективності використання добрив та погіршення екологічного стану довкілля [3].

Технології внесення добрив охоплюють сукупність технічних засобів, агротехнічних прийомів і організаційних заходів, спрямованих на забезпечення рослин необхідними елементами живлення. Сучасні системи удобрення базуються на поєднанні мінеральних, органічних та біологічних добрив із урахуванням агрохімічного стану ґрунтів і біологічних особливостей культур.

Одним із найважливіших напрямів розвитку є використання технологій точного внесення добрив. Такі системи базуються на застосуванні GPS-навігації, геоінформаційних систем, сенсорного моніторингу та цифрових карт полів. За допомогою цих технологій здійснюється аналіз просторової неоднорідності ґрунтів і визначення оптимальної норми внесення добрив для кожної окремої ділянки поля. Це дозволяє підвищити ефективність використання поживних речовин і знизити втрати добрив у навколишнє середовище.

Важливу роль у забезпеченні збалансованого природокористування відіграють сучасні машини для внесення добрив. Конструкція таких машин

передбачає використання автоматизованих систем дозування, електронних контролерів та систем регулювання норми внесення. Особливо ефективними є розкидачі мінеральних добрив із системами автоматичного контролю ширини захвату та рівномірності розподілу. Використання таких технічних рішень дозволяє мінімізувати перекриття та пропуски при внесенні добрив, що сприяє зниженню витрат ресурсів.

Перспективним напрямом є локальне та внутрішньогрунтове внесення добрив. На відміну від поверхневого розподілу, такі технології забезпечують доставку поживних речовин безпосередньо у зону розташування кореневої системи рослин. Це сприяє підвищенню коефіцієнта використання добрив, зменшенню їх втрат та покращенню умов живлення культур. Крім того, локальне внесення дозволяє знизити негативний вплив на водні ресурси та атмосферне середовище.

Значну увагу приділяють використанню органічних і біологічних добрив як елементу екологічно орієнтованих технологій землеробства. Органічні добрива сприяють покращенню структури ґрунту, підвищенню вмісту гумусу та активізації мікробіологічних процесів. Біологічні препарати, що містять корисні мікроорганізми, дозволяють підвищити доступність поживних речовин для рослин і зменшити потребу у використанні мінеральних добрив.

Сучасні технології внесення добрив також передбачають інтеграцію з системами моніторингу стану посівів. Використання супутникових знімків, безпілотних літальних апаратів та сенсорних платформ дозволяє оперативно оцінювати рівень забезпечення рослин елементами живлення та коригувати систему удобрення у процесі вегетації. Це сприяє підвищенню продуктивності агроєкосистем і забезпечує більш раціональне використання ресурсів.

Сучасні технології внесення добрив відіграють важливу роль у забезпеченні ефективного та екологічно безпечного аграрного виробництва. Використання систем точного землеробства, автоматизованих машин для внесення добрив та цифрових технологій дозволяє підвищити рівномірність розподілу поживних речовин і знизити втрати добрив у навколишнє середовище. Локальне та внутрішньогрунтове внесення добрив сприяє підвищенню коефіцієнта використання поживних речовин рослинами та зменшенню негативного впливу на ґрунтові й водні ресурси.

Список використаних джерел

1. Господаренко Г. М. Агрохімія : підручник. Київ : ТОВ «СІК ГРУП УКРАЇНА», 2018. 560 с.
2. Клименко М.О., Колесник Т.М., Сорока В.С., Налобіна О.О., Ковальчук Н.С., Голотюк М.В. Моделювання зміни родючості ґрунту під впливом багаторічного вирощування пшениці озимої. Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2025. – Вип. 2(110). – С. 94-106.
3. Клименко М.О., Колесник Т.М., Налобіна О.О., Ковальчук Н.С., Голотюк М.В. Розробка інтегрованої системи управління ґрунтовими факторами родючості для підвищення продуктивності пшениці озимої. Вісник НУВГП. Сільськогосподарські науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2025. – Вип. 1(109). – С.69-80

Голотюк М.В.

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Валецька О.В.

к.с-г.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Полевик О.А.

старший викладач кафедри агроінженерії,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

РОЗРОБКА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИМ АГРЕГАТОМ НА ОСНОВІ АДАПТИВНИХ АЛГОРИТМІВ

Сучасний розвиток агропромислового комплексу характеризується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизованих систем та елементів штучного інтелекту у виробничі процеси. Одним із найважливіших напрямів розвитку агроінженерії є створення інтелектуальних систем керування машинно-тракторними агрегатами, які забезпечують підвищення продуктивності, зниження енергетичних витрат та оптимізацію використання ресурсів. У сучасних умовах сільськогосподарська техніка працює у складному та змінному середовищі, де на ефективність виконання технологічних операцій впливають фізико-механічні властивості ґрунту, рельєф місцевості, вологість, щільність посівів, погодні умови та інші фактори [1].

Традиційні системи керування машинно-тракторними агрегатами базуються на фіксованих режимах роботи, що не дозволяє повною мірою адаптувати техніку до змінних умов експлуатації. Це призводить до перевитрат пального, збільшення навантаження на двигун, прискореного зношування вузлів та агрегатів, а також зниження якості виконання агротехнологічних операцій. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває проблема розробки інтелектуальних систем керування, здатних автоматично змінювати режими роботи машинно-тракторного агрегату залежно від поточного стану технологічного середовища.

Сучасні наукові дослідження свідчать, що використання адаптивних алгоритмів дозволяє суттєво підвищити ефективність функціонування мобільних енергетичних засобів. Такі системи забезпечують автоматичне регулювання швидкості руху, тягового навантаження, глибини обробки ґрунту та інших параметрів роботи агрегату [2, 3].

Інтелектуальна система керування машинно-тракторним агрегатом являє собою комплекс програмно-апаратних засобів, які забезпечують збір, аналіз і обробку інформації про параметри роботи техніки та навколишнього середовища з подальшим автоматичним формуванням керуючих дій. Основою функціонування такої системи є використання адаптивних алгоритмів, які дозволяють змінювати режими роботи агрегату залежно від експлуатаційних умов.

Для забезпечення ефективної роботи системи використовуються різноманітні сенсорні пристрої, серед яких датчики швидкості, навантаження, вологості ґрунту, витрати пального, положення робочих органів та системи супутникової навігації. Інформація від датчиків надходить до центрального блоку керування, де здійснюється її аналіз і прийняття рішень щодо оптимізації режимів роботи техніки.

Одним із головних завдань інтелектуальної системи є підтримання оптимального тягового режиму машинно-тракторного агрегату. При зміні щільності або вологості ґрунту автоматично коригується швидкість руху та навантаження на двигун, що дозволяє зменшити буксування рушіїв, скоротити витрати пального та підвищити продуктивність виконання технологічних операцій. Важливим елементом системи є алгоритми прогнозування, які на основі накопичених даних дозволяють визначати найбільш ефективні режими роботи агрегату.

Суттєве значення має інтеграція інтелектуальної системи керування із технологіями точного землеробства. Використання GPS-навігації, геоінформаційних систем і цифрових карт полів дозволяє здійснювати диференційоване управління технологічними процесами залежно від характеристик окремих ділянок поля. Це забезпечує раціональне використання пального, добрив і посівного матеріалу, а також сприяє зменшенню негативного впливу техніки на ґрунтовий покрив.

Використання інтелектуальних систем керування забезпечує не лише економічний ефект, але й позитивно впливає на екологічні показники агровиробництва. Завдяки оптимізації роботи агрегатів зменшуються витрати пального та обсяги викидів шкідливих речовин у навколишнє середовище. Крім того, зниження кількості проходів техніки по полю сприяє зменшенню ущільнення ґрунту та збереженню його агрофізичних властивостей.

У результаті проведеного дослідження встановлено, що розробка інтелектуальних систем керування машинно-тракторними агрегатами на основі адаптивних алгоритмів є одним із перспективних напрямів розвитку сучасної агроінженерії. Використання сенсорних систем, цифрових технологій та адаптивних алгоритмів дозволяє забезпечити автоматичне коригування режимів роботи агрегатів відповідно до змінних умов експлуатації. Разом із тим визначено, що подальший розвиток даного напрямку повинен бути спрямований на вдосконалення адаптивних алгоритмів, підвищення надійності електронних систем та їх інтеграцію у єдине цифрове середовище аграрного виробництва.

Список використаних джерел

1. Голотюк М. В., Налобіна О. О., Пилипака Т. С., Бундза О. З., Шимко А. В. Інтелектуальна система управління комплексом обладнання з прогнозуванням відмов. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки, No 4, 2025. С. 235–240.
2. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Адамчук В. В. Інтелектуальні системи керування мобільними енергетичними засобами в аграрному виробництві. Мелітополь : ТДАТУ, 2021. 248 с.

Голотюк М.В.

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Громов О.С.

здобувач вищої освіти,

Марчук А.А.

студент спеціальності агроінженерії,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ШТАНГОВОГО ОБПРИСКУВАЧА

У сучасному аграрному виробництві важливе значення має забезпечення високої ефективності захисту рослин від бур'янів, шкідників та хвороб. Одним із найбільш поширених технічних засобів для внесення засобів захисту рослин є штангові обприскувачі, які забезпечують рівномірне нанесення робочої рідини на поверхню рослин та ґрунту. В умовах інтенсифікації сільського господарства та впровадження технологій точного землеробства до обприскувачів висуваються підвищені вимоги щодо точності внесення препаратів, продуктивності, екологічної безпеки та економічної ефективності.

Якість роботи штангового обприскувача значною мірою залежить від правильного вибору та узгодження технологічних параметрів його роботи. До основних параметрів належать швидкість руху агрегату, висота розташування штанги, тип і характеристики розпилювачів, тиск робочої рідини, ширина захвату штанги, рівномірність розподілу рідини та стабільність положення штанги під час руху. Порушення оптимальних режимів роботи призводить до нерівномірного нанесення препаратів, перевитрат засобів захисту рослин, збільшення втрат робочої рідини через знесення та зниження ефективності хімічного захисту рослин [1, 2, 3].

Штанговий обприскувач являє собою складну технічну систему, до складу якої входять бак для робочої рідини, насосна система, трубопроводи, розподільні пристрої, розпилювачі та штанга. Основним завданням обприскувача є забезпечення рівномірного нанесення робочої рідини по всій ширині захвату при мінімальних втратах препарату.

Одним із головних технологічних параметрів є висота розташування штанги над оброблюваною поверхнею. Від правильного вибору висоти залежить рівномірність перекриття факелів розпилу та якість внесення препаратів. При надмірно низькому розташуванні штанги спостерігається нерівномірність покриття поверхні, тоді як надто велика висота сприяє збільшенню знесення крапель під дією повітряних потоків. Сучасні дослідження показують, що стабільність положення штанги є одним із визначальних факторів ефективної роботи обприскувача.

Важливе значення має тип і конструкція розпилювачів. Найбільш поширеними є щілинні, інжекторні та дефлекторні розпилювачі. Щілинні

розпилювачі забезпечують високу якість покриття рослин, однак характеризуються підвищеним ризиком знесення дрібнодисперсних крапель. Інжекторні розпилювачі формують крупніші краплі, що дозволяє зменшити знесення препарату та підвищити екологічну безпеку обробки. Вибір типу розпилювача залежить від виду препарату, погодних умов та особливостей культури.

Суттєвий вплив на якість обприскування має робочий тиск у системі. При підвищенні тиску покращується дисперсність розпилення, однак збільшується кількість дрібних крапель, що підвищує втрати препарату через знесення. Низький тиск, навпаки, формує великі краплі та знижує рівномірність покриття рослин. Тому вибір оптимального тиску є важливим завданням під час налаштування обприскувача.

Одним із ключових параметрів є робоча швидкість агрегату. Зі збільшенням швидкості підвищується продуктивність роботи, проте погіршується стабільність штанги та рівномірність внесення робочої рідини. Крім того, на високих швидкостях збільшується динамічне навантаження на конструкцію штанги та підвищується ризик коливаль. Для сучасних обприскувачів характерним є використання систем автоматичної стабілізації штанги, що дозволяє частково компенсувати негативний вплив нерівностей поля.

Особливу увагу приділяють рівномірності розподілу робочої рідини по ширині захвату. Нерівномірність обприскування призводить до появи необроблених або надмірно оброблених ділянок, що негативно впливає на врожайність та екологічний стан агроєкосистеми. Для підвищення точності внесення сучасні штангові обприскувачі оснащуються електронними системами контролю норми внесення, GPS-навігацією та системами автоматичного відключення секцій штанги.

У результаті проведеного аналізу встановлено, що ефективність роботи штангового обприскувача значною мірою залежить від правильного вибору та узгодження технологічних параметрів роботи. Найбільший вплив на якість внесення робочої рідини мають висота розташування штанги, тип розпилювачів, робочий тиск, швидкість руху агрегату та стабільність положення штанги під час руху. Використання сучасних систем стабілізації, електронного контролю та автоматизованого регулювання параметрів роботи дозволяє підвищити рівномірність внесення препаратів і знизити втрати робочої рідини.

Список використаних джерел

1. Бабій А. В. Аналіз параметрів штангового обприскувача з метою збільшення його продуктивності. *Machinery & Energetics*. 2019. Т. 10, № 4. С. 51–55.
2. Бабій А. В. Дослідження впливу вертикальних коливань штанги обприскувача на рівномірність внесення робочої рідини. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2022. № 5(36). С. 214–221.
3. Карась А. М. Дослідження конструкційних та технологічних параметрів обприскувачів Hardi при вирощуванні зернових культур : магістерська робота. Київ : НУБіП України, 2024. 87 с.

Пилипака Т.С.

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Налобіна О.О.

д.т.н., професор, завідувач кафедри агроінженерії,

Голотюк М.В.

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії,

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне, Україна

АНАЛІЗ КОНСТРУКЦІЇ ПОСІВНИХ МАШИН ДЛЯ РЕАЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Сучасний розвиток аграрного сектору характеризується активним впровадженням цифрових технологій, автоматизації виробничих процесів та інтелектуальних систем управління. Одним із ключових напрямів підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва є застосування технологій точного землеробства, які передбачають диференційований підхід до виконання технологічних операцій з урахуванням просторової неоднорідності поля, агрофізичних властивостей ґрунту, рівня забезпечення поживними речовинами та інших факторів. В умовах сучасного агровиробництва особливого значення набуває якість виконання посівних робіт, оскільки саме процес сівби формує основу майбутньої врожайності та визначає ефективність використання насіння, добрив і матеріально-технічних ресурсів [1].

Традиційні посівні машини не завжди забезпечують необхідну точність висіву та рівномірність розподілу насіння в умовах змінних польових параметрів. Відсутність адаптивного керування робочими процесами, недостатня точність дозування насіння та добрив, а також обмежені можливості автоматизації призводять до нерівномірності сходів, перевитрат посівного матеріалу та зниження ефективності використання площі поля. Особливо актуальною ця проблема є в умовах впровадження сучасних технологій точного землеробства, де кожна технологічна операція повинна виконуватись із високою точністю та мінімальними ресурсними втратами.

Проблематика вдосконалення конструкції посівних машин полягає у необхідності поєднання високої продуктивності, точності висіву та адаптивності до змінних умов експлуатації. Сучасні посівні комплекси повинні забезпечувати можливість диференційованого внесення насіння та добрив, автоматичне регулювання параметрів роботи, інтеграцію із системами GPS-навігації, геоінформаційними платформами та цифровими картами полів [2, 3].

Виклад основного матеріалу. Сучасні посівні машини для реалізації технологій точного землеробства являють собою складні технічні комплекси, які поєднують механічні, електронні та інформаційні системи. Основною функцією таких машин є забезпечення рівномірного розподілу насіння та добрив по площі поля з дотриманням заданої глибини загортання та норми висіву. Конструкція посівних машин включає раму, висівні апарати, сошникові системи, приводи, транспортні механізми та системи автоматизованого керування.

Одним із ключових елементів сучасних посівних машин є висівний апарат, від конструкції якого значною мірою залежить точність дозування насіння.

Найбільш поширеними є механічні та пневматичні висівні системи. Механічні системи характеризуються простотою конструкції та відносно низькою вартістю, однак їх точність значною мірою залежить від швидкості руху агрегату та фізичних властивостей насіння. Пневматичні висівні системи забезпечують більш рівномірний розподіл насіння та дозволяють реалізувати технології точного висіву, що є особливо важливим для просапних культур.

Важливим елементом конструкції є сошникові системи, які забезпечують формування посівної борозни та загортання насіння. Сучасні сошники повинні забезпечувати стабільну глибину висіву навіть за умов неоднорідної структури ґрунту. Для цього використовуються пружинні механізми копіювання рельєфу поля, системи автоматичного регулювання притискного зусилля та датчики контролю положення робочих органів. Такі рішення дозволяють підвищити рівномірність сходів і покращити умови розвитку рослин.

Суттєву роль у реалізації технологій точного землеробства відіграють системи електронного керування. Сучасні посівні комплекси оснащуються бортовими комп'ютерами, системами GPS-навігації та електронними контролерами, які забезпечують автоматичне регулювання норми висіву залежно від технологічної карти поля. Використання таких систем дозволяє здійснювати диференційований висів насіння та внесення добрив залежно від агрохімічних показників ґрунту, рівня врожайності окремих ділянок поля та інших параметрів. Особливого значення набуває інтеграція посівних машин із геоінформаційними системами та технологіями дистанційного моніторингу. Використання цифрових карт полів, супутникових знімків і даних безпілотних літальних апаратів дозволяє формувати карти-завдання для посівних машин і автоматично коригувати параметри роботи агрегату під час руху по полю. Це сприяє оптимізації використання насіння та добрив, зниженню ресурсних витрат і підвищенню ефективності агротехнологічних процесів.

Сучасні посівні машини є важливим елементом реалізації технологій точного землеробства та забезпечують підвищення ефективності виконання посівних робіт. Найбільший вплив на якість сівби мають конструкція висівних апаратів, сошникових систем та рівень автоматизації процесів керування. Використання пневматичних висівних систем, GPS-навігації, електронних контролерів і геоінформаційних технологій дозволяє забезпечити високу точність висіву, оптимізувати використання насіння та добрив і знизити технологічні втрати.

Список використаних джерел

1. Голотюк М. В., Налобіна О.О., Бундза О.З., Тхорук Є.І., Дорошук В. О. Мехатроніка в системах точного землеробства. Вісник НУВГП, серія: Технічні науки. – Рівне: НУВГП, 2022. – Вип. 4(100). – С. 114–123.
2. Мойсеєнко В. В. Машини для сівби та садіння : навч. посіб. Житомир : ЖНАЕУ, 2019. 280 с.
3. Надикто В. Т., Кюрчев В. М., Адамчук В. В. Технології точного землеробства в сучасному агровиробництві : монографія. Мелітополь : ТДАТУ, 2020. 265 с.

Грудовий Р.С.,

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,

Засць М.Л.,

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,

Гльченко А.В.,

к.т.н., доцент, доцент кафедри агроінженерії та технічного сервісу,

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна.

АНАЛІЗ ЗОВНІШНІХ СИЛ, ЩО ДІЮТЬ НА МАШИННО-ТРАКТОРНИЙ АГРЕГАТ ТА ВПЛИВАЮТЬ НА ЙОГО ВИТРАТУ ПАЛИВА

Витрата палива машино-тракторного агрегату (МТА) – важливий показник ефективності його використання. Контроль витрати палива є необхідним для його обліку, моніторингу показників роботи МТА, запровадження системи заохочення виконавців, списання палива тощо [1].

Існуючі математичні моделі визначення витрат палив орієнтовані в основному на засоби транспортного призначення, враховують різноманіття умов їх експлуатації і можуть бути застосовані для транспортного режиму МТА. Але, застосовувати їх для тягових режимів роботи МТА в полі з різним сільськогосподарським обладнанням не можливо.

Існують декілька підходів до розв'язання питання визначення, контролю та нормування витрат палив МТА. Деякі підприємства використовують систему контролю GPS/GPRS, яка пов'язана з використанням GPS-трекерів, датчиків палива та відповідного програмного забезпечення.

GPS-трекер встановлюється на МТА та відстежує в часі його координати, на основі яких програмне забезпечення визначає стоянки, швидкість руху, час в дорозі та ін. За допомогою датчика палива визначається витрата, він може вимірювати безпосередньо витрату, рівень палива в бакові, час відкритого стану форсунок тощо. Програмне забезпечення обробляє інформацію від GPS-трекера та датчика палива і формує документ, який містить маршрут руху, зупинки, швидкість, витрати палива, інформацію про залишок палива в баках на початок та кінець звітної періоду. Однак, точність вимірювання витрати палива вказаними засобами контролю становить $\pm 2\%$. З точки зору розробки норм витрат палив такий підхід є незручним для використання.

Для визначення витрат палив МТА авторами запропоновано використання відомої моделі витрати палива проф. Говоруценка М.Я. [2] за умови її адаптації під роботу МТА в складі трактора з різним сільськогосподарським обладнанням. Для цього необхідно врахувати зовнішні сили, що створюють опір руху МТА та впливають на витрату палива:

$$\sum_{i=1}^n P = G\Psi + 0,077kFV^2 \pm 0,1\beta G\dot{V} + P_{\text{ТЗП}}, \quad (1)$$

де G – вага МТА, Н; Ψ – коефіцієнт сумарного опору поверхні руху; kF – фактор обтічності МТА, Н·с²/м²; V – швидкість руху, км/год; \dot{V} – прискорення МТА, м/с²;

β – коефіцієнт, що враховує інерцію обертальних мас МТА; $P_{ТЗП}$ – сила на тягово-зчпному пристрої, Н

Перша складова в (1) являє собою силу опору поверхні руху та залежить від ваги МТА та коефіцієнта сумарного опору поверхні, по який він рухається. В якості значень ваги необхідно обирати споряджену масу МТА. Якщо МТА за агротехнічних вимог працює зі змінною масою, в (1) необхідно враховувати закон цієї зміни. Значення коефіцієнта сумарного опору поверхні залежить від величини повздовжнього ухилу поверхні руху та коефіцієнта опору кочення, який змінюється в широких межах, наприклад, для колісного трактора від 0,03 (цілина) до 0,22 (свіжозоране поле). Друга складова в (1) – це сила опору повітря, якої в більшості випадків можна знехтувати, оскільки вона має прояв за відносно великих значень швидкостей руху. Однак, деяке технологічне обладнання може мати значну «парусність», наприклад, обладнання для поливу або обприскування, що призведе для підвищення витрати палива на подолання сили опору повітря. Третя складова в (1) – сила інерції, яка враховує силу інерції поступальних мас МТА та інерції обертальних мас, яку описують коефіцієнтом:

$$\beta = 1 + (0,03 \dots 0,07) i_k^2 \quad (2)$$

Відомо, що для нормальної роботи МТА для різних швидкостей його руху повинна виконуватись умова (рис. 1):

$$P_{\text{гак}}(V)\eta_m = R_{\text{пл}}(V) \quad (3)$$

де $P_{\text{гак}}$ – сила на гаку, кН; $R_{\text{пл}}$ – тяговий опір плуга, кН; η_m – коефіцієнт використання тягового зусилля.

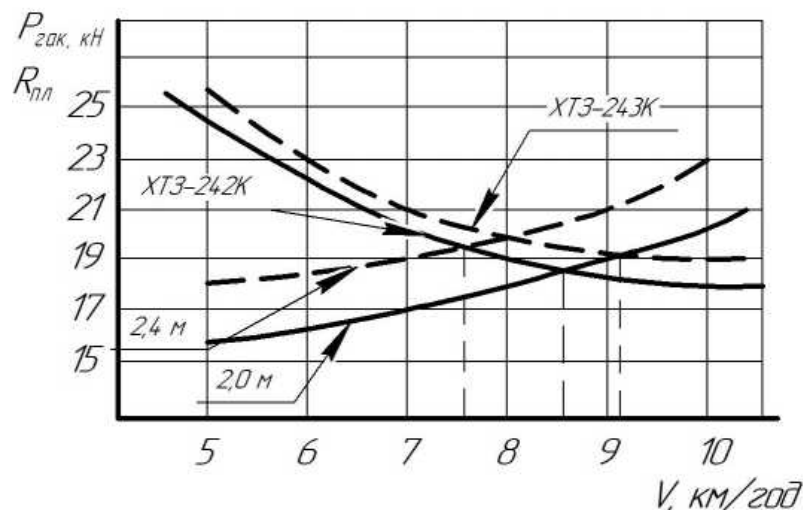


Рисунок 1 – Залежність тягового опору плуга і зусилля на гаку трактора від швидкості руху МТА у складі тракторів ХТЗ-242К, ХТЗ-243К і плугів із шириною захвату 2,0 і 2,4 м, відповідно [3]

Висновок: проведений аналіз зовнішніх сил дозволяє врахувати їх вплив на витрату палива, що є необхідним для розрахунку норм цих витрат для МТА з відомими конструктивними параметрами, що рухаються у відомих умовах на відомих режимах.

Список використаних джерел

1. Білінський Й. Й. Аналіз методів та засобів контролю витрат рідких і газоподібних середовищ та їхня класифікація / Й.Й. Білінський, М.О. Стасюк, М.В. Гладішевський // *Наукові праці ВНТУ*. Вінниця, 2015. № 1. С. 1-11.
2. Колодницька Р. В. Моделювання витрати дизельного біопалива для автомобільного транспорту / Р.В. Колодницька // *Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції*. Вінниця, 2021. С. 114-117.
3. Заєць М. Л. Обґрунтування схеми встановлення начіпного плуга й аналіз сил, що діють на нього / М. Л. Заєць, І. П. Харчук // *Біоенергетичні системи: матеріали IV міжнародної науково-практичної конференції*. Частина 2, 29 травня 2020 р.. Житомир, 2020. С. 129-133.



Іванов О.М.,канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: oleg.ivanov@pdau.edu.ua*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЗЕРНОСУШАРОК ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

Сушіння зерна є одним із найбільш енергоємних процесів післязбиральної обробки сільськогосподарської продукції. Частка енергетичних витрат на сушіння може досягати 60–70 % від загального обсягу енерговитрат під час підготовки зерна до зберігання [1]. Значні витрати теплоти обумовлені необхідністю нагрівання зернової маси та випаровування вологи, що особливо характерно для сушіння кукурудзи та інших культур із високою початковою вологістю.

У більшості зерносушарок регулювання температури теплоносія здійснюється за фіксованими режимами або вручну оператором без урахування поточного стану зернової маси. Це призводить до перевитрат палива, нерівномірності сушіння та погіршення якості готової продукції. Одним із перспективних напрямів підвищення енергоефективності зерносушильних установок є автоматизоване регулювання теплових процесів із використанням цифрових систем контролю температури та вологості [2].

Процес сушіння зерна супроводжується одночасним тепло- та масообміном між зерновою масою та сушильним агентом. Теплова енергія витрачається як на нагрівання зерна, так і на випаровування вологи.

Для сушіння 1 т зерна кукурудзи зі зниженням вологості з 24 % до 14 % необхідно видалити близько 100–120 кг вологи. За питомої теплоти пароутворення приблизно 2250 кДж/кг лише на випаровування вологи витрачається понад 250 МДж теплоти. З урахуванням теплових втрат фактичні витрати енергії можуть становити 3500–5000 МДж/т зерна [3].

Основними причинами підвищених енерговитрат є нестабільність температурного режиму, надмірне нагрівання теплоносія, відсутність оперативного контролю вологості зерна та значні втрати теплоти з відпрацьованим сушильним агентом. За умов ручного регулювання температура теплоносія може відхилитися від оптимального значення на 10–15 °С, що збільшує витрати палива на 8–12 % [4].

Метою дослідження було визначення впливу автоматизованого регулювання температури теплоносія на енергоефективність процесу сушіння та рівномірність видалення вологи із зернової маси. Дослідження проводилися у двох режимах роботи установки. У першому режимі температура теплоносія підтримувалася постійною на рівні 100 °С. У другому режимі застосовувалося

автоматизоване регулювання температури залежно від поточної вологості зерна. На початковому етапі сушіння температура теплоносія становила 105 °С, після зниження вологості зерна до 18 % температура автоматично зменшувалася до 85 °С, а на завершальному етапі сушіння – до 70 °С.

У процесі досліджень контролювалися температура теплоносія, температура зернової маси, тривалість сушіння та витрати електроенергії. Вологість зерна визначали ваговим методом через кожні 15 хв роботи установки.

Результати експерименту показали, що використання автоматизованого регулювання забезпечує стабільніший тепловий режим процесу сушіння. У разі постійної температури теплоносія коливання температури зернової маси досягали 9–11 °С, тоді як при автоматизованому регулюванні вони не перевищували 3–4 °С. Це дозволило забезпечити більш рівномірний розподіл теплоти по висоті сушильної шахти.

Тривалість сушіння зерна до кінцевої вологості 14 % у режимі постійної температури становила 92 хв, тоді як при автоматизованому регулюванні – 79 хв. Таким чином, тривалість процесу скоротилася приблизно на 14,1 %.

Встановлено, що витрати електроенергії на процес сушіння також зменшилися. У режимі постійної температури сумарне енергоспоживання лабораторної установки становило 8,6 кВт·год, а при автоматизованому регулюванні – 7,1 кВт·год. Це відповідає зниженню енергоспоживання на 17,4%.

Під час досліджень також оцінювався вплив режиму сушіння на якість зерна. У разі використання постійної температури теплоносія спостерігалось локальне перегрівання окремих шарів зернової маси, що супроводжувалося утворенням мікротріщин у 4,5 % зерен. При автоматизованому регулюванні температури частка пошкоджених зерен знизилася до 2,7 %.

Отримані результати свідчать, що автоматизоване регулювання температури теплоносія забезпечує більш ефективне використання теплоти в процесі сушіння та дозволяє зменшити енергетичні витрати без погіршення якості готової продукції.

Впровадження автоматизованого регулювання теплових процесів у промислових зерносушарках дозволить підвищити енергоефективність сушіння зерна шляхом адаптивної зміни температури теплоносія залежно від поточного стану зернової маси. Очікується зниження питомих витрат енергії на 15–20 %, скорочення тривалості сушіння до 10–15 % та зменшення теплових втрат через більш раціональне використання сушильного агента.

Використання автоматизованих систем контролю температури та вологості сприятиме підвищенню рівномірності сушіння зерна, зменшенню ризику локального перегрівання та покращенню якості готової продукції. Додатковою перевагою є зменшення впливу людського фактора на стабільність роботи зерносушильного обладнання.

За результатами експериментальних досліджень, проведених на лабораторній шахтній установці конвективного сушіння зерна, встановлено ефективність автоматизованого регулювання температури теплоносія. Використання адаптивної зміни температурного режиму забезпечило

скорочення тривалості сушіння зерна кукурудзи на 14,1 % та зниження енергоспоживання на 17,4 % порівняно з режимом постійної температури теплоносія.

У ході досліджень встановлено, що автоматизоване регулювання дозволяє стабілізувати температурний режим процесу сушіння та забезпечити більш рівномірний розподіл теплоти в зерновій масі. Це сприяло зменшенню кількості пошкоджених зерен із 4,5 % до 2,7 %.

Отримані результати підтверджують доцільність використання автоматизованих систем керування тепловими процесами в зерносушильних установках для підвищення енергоефективності та покращення якості сушіння зерна.

Список використаних джерел

1. Chojnacka K., Mikula K., Skrzypczak D. Improvements in drying technologies – Efficient solutions for cleaner production with higher energy efficiency and reduced emission. *Journal of Cleaner Production*. 2021. 320. P.1-13. DOI: 10.1016/j.jclepro.2021.128706.
2. Latif A., Yusuf M. A., Budiasto, J. Real-Time Framework for Sustainable IoT-Based Grain Drying Integrated Load, Temperature, and Energy Performance Monitoring. *Instrumentation Measure Métrologie*. 2025. 24(3). P.301–308. DOI: 10.18280/i2m.240301.
3. Mittal R., Singh R. K., Yadav N., Gunjan P. Comparative review of grain drying technologies: Energy efficiency, product quality, and sustainability aspects. *The Pharma Innovation Journal*. 2026. 15(4). P.45–52. DOI: 10.22271/tpi.2026.v15.i4a.26443.
4. Yu P., Li Y., Wang, H. Current Status of Grain Drying Technology and Equipment and Its Development Trends: A Review. *Foods*. 2025. 14(14). P.1-33. DOI: 10.3390/foods14142426



Бабич Я.В.асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua**Чумак М.В.**асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ІННОВАЦІЙНА СИСТЕМА TERRAGRIP В ҐРУНТООБРОБНИХ АГРЕГАТАХ HORSCH TIGER ЯК ЗАСІБ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

Одним із перспективних технічних рішень у сфері ґрунтообробної техніки є система TerraGrip, що використовується у ґрунтообробних агрегатах серії Horsch Tiger.

Система TerraGrip являє собою гідромеханічний механізм захисту робочих органів, який забезпечує автоматичне відхилення стійки при зустрічі з перешкодою та її подальше повернення у робоче положення. Принцип роботи системи базується на створенні оптимального притискного зусилля, що дозволяє підтримувати стабільну глибину обробітку навіть за неоднорідних фізико-механічних властивостей ґрунту [1].

На представленому рисунку 1 показано етапи роботи системи TerraGrip під час контакту робочого органу з перешкодою у ґрунті. У першому положенні стійка працює в штатному режимі та забезпечує якісне розпушування ґрунту. При наїзді на камінь або іншу перешкоду система автоматично переводить стійку у відхилене положення, зменшуючи ударне навантаження на раму агрегату та робочі органи. Після проходження перешкоди стійка повертається у вихідне положення, забезпечуючи безперервність технологічного процесу [2].



Рисунок 1. Система роботи агрегату TerraGrip під час перешкоди у ґрунті
Використання системи TerraGrip має низку важливих переваг:

- зниження ризику механічних пошкоджень робочих органів і рами агрегату;
- забезпечення стабільної глибини обробітку ґрунту;

- зменшення динамічних навантажень на трактор та агрегат;
- підвищення продуктивності роботи машинно-тракторного агрегату;
- покращення якості розпушування ущільнених шарів ґрунту;
- зниження витрат пального за рахунок оптимізації тягового опору.

Особливо актуальним є використання таких систем в умовах українського аграрного виробництва, де значна частина ґрунтів характеризується неоднорідністю структури, наявністю ущільнених шарів та великої кількості рослинних залишків. Упровадження технологій типу TerraGrip сприяє ефективному застосуванню мінімального та мульчувального обробітку ґрунту, що відповідає сучасним тенденціям ресурсозберігаючого землеробства.

Практичний досвід експлуатації агрегатів Horsch Tiger свідчить, що використання систем автоматичного захисту робочих органів дозволяє значно підвищити довговічність техніки та зменшити витрати на ремонт і технічне обслуговування. Крім того, стабільна робота робочих органів забезпечує рівномірність обробітку ґрунту, покращення його структури та створення оптимальних умов для розвитку кореневої системи сільськогосподарських культур [3].

Отже, система TerraGrip у ґрунтообробних агрегатах Horsch Tiger є ефективним прикладом імплементації інноваційних інженерних рішень у сучасне аграрне машинобудування. Поєднання адаптивності, надійності та автоматизованого захисту робочих органів забезпечує підвищення ефективності обробітку ґрунту, оптимізацію експлуатаційних показників техніки та сприяє розвитку технологічної модернізації аграрного сектору України.

Список використаних джерел

1. Бондаренко П. С. Ефективність використання ґрунтообробних агрегатів у системах мінімального обробітку ґрунту. Вісник агроінженерії. 2024. № 1. С. 15–22.
2. HORSCH Tiger Cultivators and TerraGrip Technology. HORSCH Maschinen GmbH. Schwandorf, 2024. URL: <https://www.horsch.com>.
3. TerraGrip System and MulchMix Technology for Soil Cultivation. HORSCH. 2024. URL: <https://www.horsch.com/en/products/tillage/tiger>.



Колотій С.Ю.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: kolotii_samson@ukr.net

Лапенко Г. О.,

канд. тех. наук, доцент, професор кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту
grygorii.lapenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ОСНОВНІ АСПЕКТИ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

У сучасному землеробстві все більшого значення набувають технології мінімального обробітку ґрунту. Однією з найпоширеніших є система no-till, яка передбачає повну відмову від механічного обробітку та прямих посів у необроблений ґрунт. Її основними перевагами є збереження вологи, зменшення ерозії та економія ресурсів, однак у практичному застосуванні, особливо при вирощуванні кукурудзи, система no-till не завжди забезпечує оптимальні умови для розвитку рослин. Це пов'язано з ущільненням ґрунту, нерівномірним прогріванням та можливим погіршенням аерації кореневої зони. У зв'язку з цим все більшої популярності набуває комбінований підхід до обробітку ґрунту, який поєднує елементи різних технологій, зокрема mini-till та глибоке рихлення.

Технологія Strip-till (стріп-тіл, смуговий обробіток) – це метод мінімального обробітку ґрунту, який передбачає обробку землі лише вузькими смугами (15-25 см) у рядках майбутньої сівби, тоді як міжряддя залишаються необробленими та вкритими рослинними залишками [1]. В Mini-till передбачає мінімальний обробіток верхнього шару ґрунту, що дозволяє: частково зберігати вологу, покращувати структуру посівного шару, забезпечувати більш рівномірні сходи. Глибоке рихлення, у свою чергу, сприяє: розпушенню ущільнених шарів ґрунту, кращому проникненню кореневої системи кукурудзи, покращенню водообміну та повітрообміну.

Поєднання цих підходів створює більш сприятливі умови для росту рослин порівняно з повністю нульовим обробітком. Кукурудза є культурою з потужною кореневою системою, яка потребує добре структурованого ґрунту. За умов надмірного ущільнення її розвиток може уповільнюватися, що негативно впливає на врожайність. У результаті це допомагає стабілізувати врожайність навіть за змінного клімату. Особливе значення для кукурудзи має не лише стан ґрунту, а й якість посіву. Як просапна культура, вона дуже чутлива до рівномірності розміщення рослин, адже навіть незначні відхилення у відстані або глибині висіву призводять до нерівномірного розвитку та конкуренції між рослинами. Застосування сучасних сівалок, таких як Väderstad Tempo L, дозволяє забезпечити високоточний висів насіння з одночасним внесенням мінеральних добрив [2]. Завдяки незалежній роботі кожної висівної секції досягається стабільна глибина загортання насіння навіть за нерівностей поля. Це сприяє формуванню дружніх сходів і вирівняного посіву.

Поєднання глибокого рихлення ґрунту з точним висівом дозволяє максимально реалізувати потенціал культури. Кукурудза отримує оптимальні умови для розвитку кореневої системи та рівномірний доступ до поживних речовин уже на початкових етапах росту. У результаті підвищується ефективність використання вологи та елементів живлення, що безпосередньо впливає на формування стабільного і високого врожаю.

Подальший успіх вирощування кукурудзи значною мірою залежить від своєчасного догляду за посівами. Важливим етапом є проведення обробок рослин засобами захисту, зокрема гербіцидами, інсектицидами та фунгіцидами. Їх застосування необхідно здійснювати в оптимальні строки, з урахуванням фази розвитку культури. При цьому велике значення мають природні фактори, такі як температура повітря, вологість та наявність опадів. Саме вони впливають на ефективність препаратів і загальний стан рослин. У разі несприятливих умов строки обробок можуть змінюватися, що потребує постійного контролю за посівами. Таким чином, правильний і своєчасний догляд є важливою складовою формування високого врожаю кукурудзи.

Узагальнюючи результати проведених досліджень, встановлено, що запропонована технологія вирощування кукурудзи забезпечує істотне підвищення продуктивності культури [4]. Порівняльний аналіз із традиційними та альтернативними технологіями показав, що її застосування дозволяє отримати приріст урожайності на рівні до 20 %. Такий результат досягається завдяки оптимізації системи живлення рослин, ефективному управлінню водним режимом, а також впровадженню сучасних агротехнічних прийомів, спрямованих на максимальне використання генетичного потенціалу гібридів кукурудзи. Аналіз урожайності за останні три роки показав стабільну перевагу даної технології. Зокрема, урожайність кукурудзи становила 9,1 т/га проти 7,8 т/га за інших технологій, у наступному році – 7,8 т/га проти 6,9 т/га, а також 6,7 т/га проти 5,8 т/га. Це свідчить про те, що впровадження глибокого рихлення та точного висіву дозволяє отримувати стабільний приріст урожайності та підвищувати ефективність виробництва.

Список використаних джерел

1. Шнипорков М.П. Вплив попередників та удобрення на врожайність кукурудзи за дотриманням системи Strip Till. Полтава: ПДАУ, 2021. 55 с.
2. Сівалка Tempo L 16 від Väderstad встановила світовий рекорд із швидкості висіву кукурудзи. AgroNews. 2020. URL: <https://agronews.ua/news/tempo-l-16-vid-vaderstad-svitovyy-rekordsmen-iz-vysivu-kukurudzy/>
3. Скорик В.В. Method of basic tillage in the realization of corn yield potential in the Central Forest-Steppe of Ukraine. Foothill and Mountain Agriculture and Stockbreeding. 2026. Вип. 79(1). С. 122–130. DOI: 10.32636/01308521.2026-(79)-1-10.
4. Gorbenko, O., Lapenko, H., Lapenko, T., and Kolotii, S. (2025) Determination on energy efficiency in corn grain drying. Technology Audit and Production Reserves, 2(1(82), 45-49.



Чех О.М.,здобувач вищої освіти ступеня магістра,
yaroslav.cherkasets@st.pdau.edu.ua**Бурлака О. А.**канд. техн. наук, доцент,
доцент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту
oleksii.burlaka@pdau.edu.ua*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЇ МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ЗЕРНОЗБИРАЛЬНИХ КОМБАЙНІВ JOHN DEERE 9640 WTS, 9660 WTS, 9680 WTS

Зернозбиральні комбайни серії John Deere 9640 WTS, 9660 WTS та 9680 WTS належать до машин середнього та високого класу продуктивності. Конструкція цих зернозбиральних комбайнів базується на класичній тангенційній барабанно-клавішній схемі обмолоту та сепарації зерна. Дані моделі виготовлялися компанією John Deere у Німеччині впродовж 2002–2007 років. Комбайни John Deere 9640 WTS, 9660 WTS та 9680 WTS стали подальшим розвитком відомих комбайнів серій John Deere 9500 і John Deere 9600, які широко застосовувалися в аграрному секторі України [1].

Основою конструкції молотильно-сепарувального пристрою досліджуваних комбайнів є класична двобарабанна система обмолоту [1,2], що включає основний молотильний барабан більшого типу, підбарабання, відбійний бітер із додатковою декою, шестиклавішний соломотряс та систему очищення зерна Quadra-Flo [1]. Застосування такої схеми забезпечує стабільність технологічного процесу за різних умов збирання та дозволяє досягати достатньо високих показників продуктивності при відносно простій конструкції.

Встановлено, що між моделями John Deere 9640 WTS, John Deere 9660 WTS та John Deere 9680 WTS відсутні принципові конструктивні відмінності у будові молотильно-сепарувальної системи. Основні відмінності полягають у потужності силової установки та місткості зернового бункера. Зокрема, модель John Deere 9640 WTS оснащується двигуном потужністю 275 к.с. та зерновим бункером місткістю 8000 л. Модель комбайна John Deere 9660 WTS оснащується двигуном потужністю 305 к.с. і бункером 9000 л. Модель комбайна John Deere 9680 WTS оснащується двигуном потужністю 335 к.с. та бункером місткістю 11000 л. При цьому конструкція молотарки, принцип роботи системи сепарації та технологічні регулювання залишаються практично однаковими.

Технологічною особливістю даних машин є використання основного молотильного барабана діаметром 660 мм і шириною 1670 мм із десятьма бичами. Діапазон частоти обертання барабана становить 350–950 об/хв, а при використанні додаткового редуктора — 200–475 об/хв. Це дозволяє адаптувати режим обмолоту до різних культур та умов збирання. Важливою перевагою є застосування електричного регулювання зазору між барабаном і підбарабанням.

Можливість здійснення такого регулювання підвищує точність налаштування та спрощує експлуатацію машини.

Особливу увагу в конструкції комбайнів серії WTS приділено процесу сепарації зерна. Після проходження основного молотильного барабана рослинна маса надходить до відбійного бітеру, який забезпечує додаткове відділення зерна та рівномірний розподіл маси по клавішах соломотряса. Для підвищення ефективності сепарації над соломотрясом встановлено активний ротор із ексцентриковим приводом, який розпушує соломисту масу та сприяє інтенсивнішому виділенню залишкового зерна. Таке конструктивне рішення дозволяє частково компенсувати один із головних недоліків класичної барабанно-клавішної схеми, а саме - підвищені втрати зерна на клавішному соломотрясі.

Аналіз експлуатаційних особливостей показав, що найбільші втрати зерна у комбайнах даного типу виникають саме в зоні роботи соломотряса. Інтенсивність втрат суттєво зростає при збиранні високоврожайних, засмічених або вологих посівів [3,4], а також під час роботи на схилах. Значний вплив на ефективність роботи молотильно-сепарувальної системи має правильність технологічних налаштувань, зокрема вибір частоти обертання барабана та величини зазору між барабаном і підбарабанням.

Встановлено, що одним із суттєвих недоліків класичної тангенційної системи обмолоту є складність вибору оптимального режиму роботи молотильного апарата. Це пояснюється неоднорідністю фізико-механічних властивостей зерна у колосі. Для вимолоту стиглого зерна необхідно значно менше енергії, ніж для виділення недозрілого або щуплого зерна. Унаслідок цього надмірне підвищення інтенсивності обмолоту призводить до дроблення та травмування зерна, а недостатня інтенсивність призводить до збільшення недомолоту.

Для часткового усунення зазначеної суперечності в конструкції комбайнів застосовано дворадіусне підбарабання, яке реалізує двостадійний процес обмолоту. На першій ділянці забезпечується інтенсивний вплив на ворох, тоді як на другій відбувається більш ощадний режим вимолоту, спрямований на мінімізацію пошкодження зерна. Таке рішення дозволяє покращити якість обмолоту та зменшити втрати продукції.

Пропускна спроможність молотильно-сепарувального пристрою досліджуваних моделей становить у середньому 10...15 кг/с хлібної маси. Такий показник відповідає середньому класу продуктивності сучасних зернозбиральних комбайнів. При цьому комбайни серії WTS характеризуються достатньо високою експлуатаційною надійністю, простотою технічного обслуговування та адаптивністю до різних умов збирання.

Важливою перевагою комбайнів John Deere є високий рівень технічної надійності порівняно з машинами попередніх поколінь вітчизняного виробництва (КЗС-9-1, Лан...). За результатами експлуатаційних досліджень встановлено, що середній напрацювання на відмову зарубіжних комбайнів може досягати 150 годин, тоді як у багатьох вітчизняних моделей цей показник становив близько 10 годин. Це свідчить про вищий технічний рівень виконання,

якість комплектуючих та ефективність конструктивних рішень іноземної техніки.

Разом із тим встановлено, що ефективність використання зернозбиральних комбайнів значною мірою залежить від дотримання оптимальних строків проведення збиральних робіт. Несвоєчасне збирання врожаю призводить до суттєвих втрат зерна. Затримка збирання на 11...13 днів може спричинити втрати до 16%. Перевищення строків на 18...21 день спричиняє втрати до 30%, що суттєво знижує економічну ефективність виробництва.

Отже, молотильно-сепарувальні системи зернозбиральних комбайнів John Deere 9640 WTS, 9660 WTS та 9680 WTS характеризуються ефективним поєднанням конструктивної простоти, технологічної надійності та достатньої продуктивності. Використання класичної двобарабанної схеми обмолоту забезпечує стабільність роботи машини в різних умовах експлуатації. Впровадження додаткових технічних рішень, зокрема активного ротора над соломотрясом і дворадіусного підбарабання, дозволяє підвищити якість сепарації зерна та знизити втрати.

Відповідно, основним напрямом подальшого вдосконалення молотильно-сепарувальних систем класичного типу залишається підвищення ефективності роботи соломотряса, зменшення травмування зерна та забезпечення автоматичної адаптації технологічних параметрів до змінних умов збирання. Це сприятиме підвищенню продуктивності зернозбиральних комбайнів та зменшенню втрат урожаю в процесі збирання.

Список використаних джерел

- 1.Офіційний сайт: <https://www.deere.ua/uk-ua>. Дата звернення 04.11.2025р.
- 2.Burlaka, O. A., Yakhin, S. V., Padalka, V. V., & Burlaka, A. O. (2021). 100 tons per hour, what is next? Let us compares and analyzes characteristics of the latest models of highly productive combine harvesters. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 274–288. doi: 10.31210/visnyk2021.03.34
- 3.Канівець, О. В., Канівець, І. М., Бурлака, О. А., Біловод, О. І., & Келемеш, А. О. (2025). Удосконалення зернового комбайна системою машинного зору для відслідковування локацій бур'янів під час збирання урожаю. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, (2), 20-25. <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.2.3>
- 4.Келемеш А., Ляшенко С., Бурлака О. Адаптація технологічних регулювань молотильно-сепарувального пристрою зернозбирального комбайна до складних умов збирання врожаю. Матеріали XXV Міжнародної наукової конференції «Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій», присвяченої пам'яті академіка Леоніда Погорілого, 26 вер 2025 року, УкрНДПВТ ім. Л. Погорілого; Україна, Дослідницьке, 2025. С. 122–125. <https://www.ndipvt.com.ua/tez/zbt2025.pdf>



Лапенко Т. Г.,

к.т.н., доцент, професор кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
taras.lapenko@pdau.edu.ua

Діденко О. А.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
oleksandr.didenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

УДОСКОНАЛЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ШЛІФУВАЛЬНИХ КРУГІВ

У сучасному машинобудуванні та ремонтно-відновлювальному виробництві шліфування належить до найбільш поширених і відповідальних фінішних операцій механічної обробки металів та сплавів. Даний технологічний процес забезпечує досягнення високої точності геометричних параметрів деталей, необхідних показників шорсткості поверхні та стабільності експлуатаційних характеристик виробів. У зв'язку з цим питання раціонального вибору конструкційних параметрів шліфувального інструменту, а також оптимізації технологічних режимів шліфування залишаються актуальними як у науковому, так і у виробничому середовищі [1,2].

Результати аналізу науково-технічної літератури та виробничих рекомендацій свідчать, що, незважаючи на значну кількість досліджень у сфері абразивної обробки, універсальної методики або єдиного алгоритму оптимізації параметрів шліфування і вибору шліфувальних кругів на сьогодні не існує [3,4]. Така проблематика пояснюється складністю процесу шліфування, який характеризується багатофакторністю та суттєвою залежністю від фізико-механічних властивостей оброблюваного матеріалу, умов різання, характеристик абразивного інструменту та вимог до якості готової поверхні.

Практичний досвід експлуатації шліфувального обладнання як в машинобудуванні, так і в ремонтному виробництві [5,6], а також результати співпраці з промисловими підприємствами дозволяють стверджувати, що під час вибору режимів шліфування визначальними критеріями є не лише забезпечення необхідних параметрів точності й шорсткості поверхні, але й економічна ефективність технологічного процесу. Одним із ключових показників економічності виступає собівартість механічної обробки. Такий показник безпосередньо залежить від продуктивності процесу, енерговитрат, витрат мастильно-охолоджувальних рідин та ресурсу шліфувального круга.

Провідні світові виробники абразивного інструменту, зокрема ToolGal, Gleason, Pferd, Sia Abrasives, VSM та Abrasives, у технічній документації до шліфувальних кругів надають рекомендації щодо допустимих режимів шліфування, швидкостей різання, подач, а також геометричних параметрів інструменту для конкретних умов експлуатації [1,2]. Проте навіть за наявності

таких рекомендацій остаточний вибір режимів обробки потребує врахування реальних виробничих умов та специфіки технологічного процесу.

У вітчизняній практиці технології шліфування регламентуються вимогами стандартів [7,8]. При виборі шліфувального круга основними параметрами, що визначають ефективність його застосування, є: матеріали абразивного зерна; зернистість круга; тип і твердість зв'язки; геометричні параметри інструменту; структура та пористість круга; теплостійкість і зносостійкість абразивного шару.

Важливим експлуатаційним показником є коефіцієнт шліфування, який характеризує співвідношення об'єму знятого металу до об'єму зношеної частини шліфувального круга. Високе значення цього коефіцієнта свідчить про ефективне використання інструменту та економічність процесу обробки.

До основних критеріїв оцінювання якості шліфувального круга необхідно віднести: забезпечення заданої точності геометричних параметрів деталей; досягнення нормативних показників шорсткості поверхні; стабільність ріжучої здатності інструменту; мінімізацію сил різання; відсутність дефектів термічного походження, зокрема припиків, мікротріщин і структурних змін поверхневого шару. За результатами наукових досліджень встановлено, що на точність та стабільність процесу шліфування істотно впливає величина складової сили різання. Така складова визначає навантаження на абразивний інструмент та рівень тепловиділення в зоні контакту [1,2]. Критичним фактором також є температура шліфування. Визначено, що підвищення температури в зоні контакту між кругом і деталлю до 600 °С і вище при глибині різання близько 0,02 мм може призводити до виникнення припиків, структурних змін металу та погіршення експлуатаційних характеристик деталі.

Одним із негативних явищ, характерних для процесу шліфування, є «засалювання» робочої поверхні круга. Таке негативне явище виникає внаслідок заповнення простору між абразивними зернами частинками оброблюваного матеріалу. Останнє призводить до зниження ріжучої здатності інструменту, зростання температури в зоні різання та погіршення якості поверхні. Імовірність виникнення «засалювання» залежить від: матеріалу абразивного зерна; температури плавлення компонентів оброблюваного матеріалу; зернистості та структури круга; режимів різання; ефективності охолодження.

У сучасному абразивному інструменті широкого застосування набули шліфувальні круги на основі кубічного нітриду бору CBN (Cubic Boron Nitride), які характеризуються високою твердістю, теплостійкістю та зносостійкістю. Такі круги ефективно використовуються для обробки загартованих сталей, високоміцних сплавів та інших важкооброблюваних матеріалів. При шліфуванні деталей із підвищеною твердістю поверхневого шару важливого значення набуває тип зв'язки абразивних зерен. Залежно від умов обробки застосовують: органічні зв'язки; металеві зв'язки; керамічні зв'язки; комбіновані зв'язувальні системи. Кожен тип зв'язки забезпечує різні показники міцності утримання зерен, теплопровідності та самозаточування інструменту, що безпосередньо впливає на продуктивність і стабільність процесу шліфування.

Під час вибору режимів шліфування необхідно враховувати такі технологічні параметри: швидкість обертання шліфувального круга; величину поздовжньої та поперечної подачі; глибину шліфування; кінематичну схему руху деталі; інтенсивність подачі мастильно-охолоджувальної рідини; теплові навантаження у зоні контакту. Особливої уваги потребує концентрація алмазної крихти або надтвердого абразиву в робочому шарі круга, яка визначає його ріжучу здатність та експлуатаційний ресурс. Як правило, концентрація алмазного наповнювача становить від 6,25 % до 25 %, а її вибір залежить від матеріалу заготовки, умов обробки та вимог до продуктивності процесу.

Таким чином, під час вибору шліфувального інструменту та визначення оптимальних режимів шліфування доцільно комплексно враховувати: хімічний і компонентний склад шліфувального круга; фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу; тип і характеристики абразивного зерна; допустимі теплові та силові навантаження; імовірність виникнення припиків і «засалювання»; вимоги до точності та якості поверхневого шару деталі; економічні показники ефективності процесу. Відповідно, комплексний підхід до вибору параметрів шліфування дозволяє підвищити продуктивність механічної обробки, забезпечити стабільну якість деталей машин та збільшити ресурс абразивного інструменту в умовах сучасного машинобудівного виробництва.

Список використаних джерел

1. Лапенко Г. О., Горбенко О. В., Лапенко Т. Г., Ковтун В. А. Оптимізація параметрів шліфування алмазними кругами, виготовленими з алмазних порошків із нікелевим покриттям. Вісник ПДАА, 2020. №4. С.267-272.
2. Лапенко Г. О., Яхін С. В., Лапенко Т. Г., Павлик О. Г. Обґрунтування вибору параметрів шліфувальних кругів та режимів шліфування. Вісник ПДАА. 2022. №3. С.205-212.
3. Fritsche, A., & Bleicher, F. (2015). Experimental Investigation of the Heat Flux Distribution in Grinding of Titanium Alloy. *Procedia Engineering*, 100, 987–993. doi: 10.1016/j.proeng.2015.01.458 18.
4. García, E., Sánchez, J. A., Méresse, D., Pombo, I., & Dubar, L. (2014). Complementary tribometers for the analysis of contact phenomena in grinding. *Journal of Materials Processing Technology*, 214 (9), 1787–1797. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2014.03.026
5. Wegener, K., Hoffmeister, H.-W., Karpuschewski, B., Kuster, F., Nahmann, W.-C., & Rabiey, M. (2011). Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Annals*, 60(2), 757–777. doi: 10.1016/j.cirp.2011.05.003
6. Xing, H. L., Mora, P., & Makinouchi, A. (2003). Finite Element Simulation of Stress Evolution in a Frictional Contact System. *Computational Science — ICCS 2003*, 798–806. doi: 10.1007/3-540-44863-2_78
7. ДСТУ 3292-95 Порошки алмазні синтетичні. Загальні технічні умови. Зі змінами та поправками. [Чинний від 01.01.1997].
8. ДСТУ ІСО 603-4:2019 Абразиви зі зв'язкою. Розміри. Частина 4. Шліфувальні круги для плоского шліфування, шліфування периферією круга (ІСО 603-4:1999, ІДТ) [Чинний від 01.12.2019]

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Вісіч О.В.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: oleksii.visich@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

АВТОМАТИЗОВАНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЕСИКАЦІЇ СОЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА ТА СИСТЕМ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ В УМОВАХ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

Розвиток сучасного аграрного виробництва характеризується активним впровадженням цифрових технологій, систем точного землеробства та елементів штучного інтелекту, що дозволяє підвищувати ефективність управління технологічними процесами. Одним із перспективних напрямів є використання безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для моніторингу посівів та реалізації автоматизованих технологічних операцій, зокрема в процесах десикації сої, що має важливе значення для підвищення якості збирання врожаю та зменшення втрат. Використання автоматизованої технології десикації сої передбачає інтеграцію БПЛА з системами точного землеробства та алгоритмами штучного інтелекту для аналізу стану посівів у режимі реального часу. На основі даних аерофотозйомки та мультиспектрального аналізу здійснюється визначення ступеня дозрівання рослин, нерівномірності розвитку посівів та необхідності локального внесення десикантів. Алгоритми штучного інтелекту забезпечують обробку великих масивів даних, формування карт-завдань та оптимізацію траєкторії руху БПЛА для точкового або зонального внесення препаратів. Запропонована технологічна схема включає етапи моніторингу посівів за допомогою БПЛА, обробки отриманих даних у геоінформаційній системі, формування цифрових карт диференційованого внесення та безпосереднього виконання десикації з використанням автономних або напіваавтономних літальних платформ. Такий підхід дозволяє забезпечити рівномірність обробки, зменшити витрати хімічних засобів та мінімізувати вплив на навколишнє середовище [1-3].

Додатково застосування систем точного землеробства забезпечує просторово-диференційований підхід до управління посівами, що підвищує точність прийняття агротехнологічних рішень. Використання штучного інтелекту дозволяє адаптувати технологічні параметри обробки залежно від змін умов вирощування, що підвищує ефективність виконання операції десикації та стабілізує якість отриманої продукції.

У результаті впровадження автоматизованої технології десикації сої з використанням БПЛА та систем штучного інтелекту забезпечується підвищення

точності агротехнічних операцій, зниження витрат ресурсів, оптимізація використання хімічних препаратів та зменшення екологічного навантаження. Узагальнено, запропонований підхід є перспективним напрямом цифрової трансформації рослинництва та підвищення ефективності вирощування сої в умовах сучасного агровиробництва.

Список використаних джерел

1. Бурлака С., Далека А. Технології БПЛА для сільського господарства. Вісник Хмельницького Національного Університету. Технічні науки, 339(4), 2024. С. 259–264. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-339-4-41>.
2. Родінков Ю., Савицький А. Математична модель керування безпілотних літальних апаратів. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 337 (3(2)), 2024. С. 298–304. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-337-3-45>.
3. Станкевич С. В. Агродрони – майбутє сільського господарства. II Всеукраїнська науково-практична конференція «Ефективність агротехнологій Житомирщини» (с. 80–81). 17 18 листопада 2022 р., Житомир, ЖАТФК, 2022.



Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Гончаренко Т.О.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: taras.honcharenko@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНО-КІНЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ДИСКОВО-НОЖОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ДЕРЕВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ

Сучасний розвиток енергетичного сектору та зростання попиту на альтернативні види палива зумовлюють необхідність ефективного використання відновлюваних ресурсів біомаси. В Україні існує значний потенціал деревних відходів, частка якого може бути залучена до виробництва паливної тріски, що є важливим напрямом енергозбереження та зниження залежності від викопних видів палива [1-4]. У зв'язку з цим актуальним є удосконалення конструкцій подрібнювального обладнання та підвищення ефективності технологічних процесів отримання деревної тріски.

Аналіз науково-технічних джерел свідчить про високий ресурсний потенціал деревної біомаси в Україні, рівень якого оцінюється близько 95,6 %, а також про стабільне зростання попиту на паливну тріску як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Перспективним напрямом є створення спеціалізованих виробничих підрозділів із переробки рослинних відходів у паливну тріску, зокрема для потреб комунальних підприємств, таких як КП «ЕФЕКТ» Решетилівської міської ради Полтавської області [5]. Це потребує вдосконалення технологій подрібнення та обґрунтування раціональних конструктивно-кінематичних параметрів обладнання [6].

Аналіз існуючих технологій показав, що наявні подрібнювальні машини не забезпечують достатньої продуктивності та необхідної якості фракційного складу тріски, що призводить до підвищених енерговитрат і зниження ефективності процесу. Для усунення цих недоліків запропоновано удосконалену конструкцію дисково-ножового подрібнювача з використанням ножів прямої форми. Таке рішення забезпечує рівномірний розподіл навантажень у зоні різання, зниження питомих енерговитрат і покращення якості кінцевого продукту.

Розрахункові дослідження підтвердили залежність продуктивності подрібнювача від частоти обертання робочого диска, який приводиться від валу відбору потужності трактора. За частоти 540 об/хв ВВП робочий диск розвиває 1500 об/хв, що забезпечує продуктивність до 3,5 т/год при питомих енерговитратах 0,85 кВт·год/т. При цьому питома витрата палива становить

0,187 кг/т, а загальна – 0,654 кг/год, що підтверджує енергоефективність запропонованого технічного рішення.

Дослідження впливу конструкції ножів показало, що застосування прямолінійної форми сприяє стабілізації процесу різання, зменшенню динамічних навантажень та підвищенню однорідності отриманої тріски. Збільшення кута заточування до 30° дозволяє знизити зусилля різання приблизно на 15 % без втрати якості подрібнення.

Економічна оцінка свідчить, що впровадження модернізованих робочих органів забезпечує річну економію близько 25 000 грн, підвищення продуктивності агрегату на 20 % та зниження витрат енергії на 12 %. Термін окупності становить близько 1,8 року. Додатково використання технології подрібнення деревних відходів має позитивний екологічний ефект, оскільки сприяє зменшенню їх накопичення та скороченню викидів CO₂ за рахунок заміщення викопного палива.

Узагальнення результатів дослідження підтверджує доцільність впровадження модернізованого дисково-ножового подрібнювача у виробничих умовах КП «ЕФЕКТ». Реалізація запропонованих технічних рішень дозволяє підвищити ефективність переробки деревної біомаси, знизити собівартість продукції та покращити екологічні показники виробництва. Одночасно важливим є дотримання вимог охорони праці та екологічної безпеки, що забезпечує комплексний позитивний ефект від впровадження технології..

Список використаних джерел

1. Федорчук Є. М. (2014). Оцінка потенціалу твердої біомаси в сільському господарстві України. Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Економіка і менеджмент, (8), 48-54.

2. Шевчук О. В. (2017). Енергетичний потенціал деревної біомаси у лісах Київської області. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво, (278), 76-83.

3. Розпорядження Кабінету Міністрів № 256-р «Про першочергові заходи щодо скорочення обсягів споживання природного газу на період до 2010 року» від 19 лютого 2009 року.

4. Закону України «Про альтернативні види палива» (назва Закону у редакції Закону N 1391-VI (1391-17) від 21.05.2009)

5. Петрук В.Г. Управління та поведження з відходами. Частина 4. Технології переробки твердих побутових відходів: навчальний посібник. В.Г. Петрук, І.В. Васильківський, В.А. Іщенко, Р.В. Петрук. Вінниця: ВНТУ, 2016. 233 с.

6. Березюк О. В. (2015). Огляд конструкцій машин для збирання та первинної переробки твердих побутових відходів. Вісник машинобудування та транспорту, (1), 3-8.



Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Дінець А.А.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: andrii.dinets@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

МЕТОДИКА ПОЛЬОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ТА ЗНОШУВАННЯ СТІЛЧАСТИХ ЛАП КУЛЬТИВАТОРНОГО АГРЕГАТУ

Підвищення ефективності роботи ґрунтообробних агрегатів є важливим завданням сучасного аграрного виробництва, оскільки експлуатаційні характеристики робочих органів безпосередньо впливають на якість обробітку ґрунту, енерговитрати та довговічність техніки. Одним із найбільш навантажених елементів культиваторних агрегатів є стрілчаста лапа, яка в процесі роботи зазнає інтенсивного абразивного зношування. У зв'язку з цим актуальним є розроблення та обґрунтування методики проведення польового експерименту для визначення експлуатаційних показників і ступеня зношування стрілчастих лап у реальних умовах експлуатації.

Методика польового експерименту передбачає виконання досліджень у виробничих умовах із дотриманням однакових агротехнічних параметрів роботи агрегату. Перед початком випробувань здійснюється підготовка дослідних зразків стрілчастих лап, визначення їх початкових геометричних параметрів, маси та твердості робочих поверхонь. Особлива увага приділяється фіксації конструктивних особливостей лапи, матеріалу виготовлення та виду зміцнювального оброблення.

У процесі проведення польового експерименту визначаються основні експлуатаційні показники роботи культиваторного агрегату: швидкість руху, глибина обробітку ґрунту, тяговий опір, продуктивність агрегату та витрати палива. Одночасно здійснюється контроль умов експлуатації, зокрема типу ґрунту, його вологості, щільності та наявності абразивних частинок, що мають безпосередній вплив на інтенсивність зношування робочих органів [1].

Оцінювання ступеня зношування стрілчастих лап проводиться через визначені інтервали напрацювання шляхом вимірювання зміни геометричних розмірів, товщини різальної кромки, втрати маси та зміни форми робочої поверхні. Для підвищення точності результатів використовуються вимірювальні прилади та шаблони, а також методи фотофіксації та порівняльного аналізу профілю зношування. На основі отриманих даних визначаються закономірності зміни технічного стану лапи залежно від умов роботи та тривалості експлуатації.

Важливим етапом методики є статистична обробка результатів досліджень, що дозволяє встановити залежності між експлуатаційними параметрами агрегату та інтенсивністю зношування стрілчастих лап. Отримані результати можуть бути використані для обґрунтування раціональних режимів роботи культиваторного агрегату, удосконалення конструкції робочих органів та вибору ефективних способів їх зміцнення.

Таким чином, розроблена методика проведення польового експерименту забезпечує комплексне оцінювання експлуатаційних показників та ступеня зношування стрілчастих лап культиваторного агрегату в реальних умовах роботи. Використання результатів досліджень сприятиме підвищенню довговічності робочих органів, зниженню витрат на їх відновлення та підвищенню ефективності використання ґрунтообробної техніки..

Список використаних джерел

1. Козаченко О. В., Шкрегаль О. М., Каденко В. С. Забезпечення ефективності робочих органів культиваторів: монографія. Харків: ПромАрт, 2021. 238 с. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/21300>.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Іваницький В.О.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: vladyslav.ivanytskyi@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ТЕХНІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ МІНІ-ЛІНІЇ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ САМОДОСТАТНОСТІ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Зростання вартості традиційних енергоносіїв, необхідність підвищення енергетичної незалежності регіонів та ефективного використання місцевих ресурсів зумовлюють актуальність розвитку біоенергетичних технологій в Україні. Одним із перспективних напрямів є виробництво паливної тріски з деревних і рослинних відходів, що дозволяє забезпечити раціональне використання біомаси та зменшити залежність від викопних видів палива. Для Полтавської області, яка має значний ресурсний потенціал сировини, важливим завданням є технічне обґрунтування проєкту міні-лінії з виробництва паливної тріски для забезпечення енергетичної самодостатності територіальних громад і комунальних підприємств.

Основою проєкту є створення компактної технологічної лінії, призначеної для механізованого подрібнення гілок дерев, відходів обрізування зелених

насаджень та інших видів деревної біомаси. До складу міні-лінії входять подрібнювач деревини, транспортуючі елементи, система сортування тріски та обладнання для накопичення й зберігання готової продукції. Особлива увага приділяється вибору конструктивних параметрів подрібнювача, які забезпечують стабільну продуктивність, низькі енерговитрати та необхідну якість паливної тріски.

У процесі технічного обґрунтування проаналізовано ресурсну базу Полтавської області та визначено потенційні джерела сировини для виробництва біопалива. Встановлено, що значні обсяги деревних і рослинних відходів утворюються внаслідок санітарного обрізування насаджень, очищення придорожніх смуг, діяльності комунальних підприємств та аграрного виробництва. Використання цих відходів для виготовлення паливної тріски дозволяє одночасно вирішувати енергетичні та екологічні проблеми регіону.

Важливим етапом дослідження стало визначення технологічних параметрів роботи міні-лінії. Обґрунтовано раціональні режими подрібнення деревної сировини, за яких забезпечується оптимальний фракційний склад тріски та зниження питомих витрат енергії. Встановлено, що використання модернізованих ножових робочих органів сприяє підвищенню продуктивності подрібнювача та покращенню однорідності отриманого матеріалу. Окремо проведено оцінювання економічної ефективності проєкту, яка підтвердила доцільність впровадження міні-лінії в умовах комунального господарства та локальних виробничих підприємств.

Запропоноване технічне рішення сприяє підвищенню рівня енергетичної самодостатності Полтавської області шляхом часткового заміщення традиційних енергоносіїв альтернативним паливом місцевого виробництва. Використання паливної тріски дозволяє зменшити витрати на опалення об'єктів комунальної інфраструктури, скоротити обсяги накопичення рослинних відходів та знизити негативний вплив на навколишнє середовище.

Таким чином, технічне обґрунтування проєкту міні-лінії для виробництва паливної тріски підтверджує перспективність розвитку локальних біоенергетичних систем у Полтавській області. Реалізація запропонованого проєкту забезпечить ефективне використання місцевих ресурсів, підвищення енергетичної безпеки регіону та створення передумов для розвитку екологічно орієнтованих технологій у сфері поводження з біомасою.

Додатково впровадження міні-лінії сприятиме зниженню залежності комунального сектору від традиційних енергоносіїв, оптимізації витрат на теплопостачання та підвищенню рівня енергоефективності об'єктів соціальної й виробничої інфраструктури. Використання паливної тріски місцевого виробництва дозволить забезпечити стабільне постачання альтернативного палива для котелень, комунальних підприємств та аграрних господарств, особливо в умовах зростання вартості природного газу та інших традиційних ресурсів.

Важливим результатом реалізації проєкту є також екологічний ефект, що полягає у скороченні обсягів накопичення деревних і рослинних відходів,

зменшенні викидів парникових газів та підвищенні рівня екологічної безпеки територіальних громад. Використання сучасних технологій подрібнення та перероблення біомаси створює передумови для формування елементів циркулярної економіки, де відходи рослинного походження розглядаються як цінний енергетичний ресурс.

Отримані результати досліджень можуть бути використані як науково-практична основа для подальшого проектування та впровадження локальних біоенергетичних комплексів у громадах Полтавської області та інших регіонах України, що сприятиме зміцненню енергетичної незалежності держави та розвитку сталих технологій у сфері відновлюваної енергетики.

Список використаних джерел

1. Думич В., Крупич О. Дослідження і ранжування систем машин для виробництва паливної тріски з порубкових залишків. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, 2(37 (51)), 2025. С. 174-187.

2. Шомко О. М., Іванська М. Ю., Бачинська О. М., Давидова І. В.. Перспективи використання відходів деревини лісових господарств як біологічних енергетичних ресурсів. Технічна інженерія, (1 (85)), 2020. С. 254-260.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Кашченко О.О.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: oleksandr.kashchenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

МЕТОДИКА ВИРОБНИЧИХ ДОСЛІДЖЕНЬ МАШИН ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯМ ЯКІСНИХ ПОКАЗНИКІВ ТРІСКИ

Ефективне використання деревних відходів та гілок після обрізування зелених насаджень є важливим напрямом ресурсозбереження й екологічно безпечного ведення господарської діяльності. Одним із ключових етапів підготовки деревної біомаси до подальшого використання як паливного або технологічного матеріалу є процес подрібнення. Якість отриманої тріски безпосередньо впливає на ефективність транспортування, зберігання, спалювання та біологічної переробки сировини. У зв'язку з цим актуальним є розроблення методики проведення польового експерименту для оцінювання

роботи машин для подрібнення гілок дерев із визначенням якісних показників подрібненого матеріалу.

Методика досліджень передбачає проведення експериментальних випробувань машини у виробничих або наближених до виробничих умовах із дотриманням стабільних режимів роботи. Перед початком експерименту визначаються основні технічні параметри подрібнювача, зокрема тип і конструкція робочих органів, частота обертання ротора, потужність приводу та продуктивність агрегату. У процесі польового експерименту визначаються експлуатаційні та якісні показники роботи машини. До основних експлуатаційних параметрів належать продуктивність подрібнення, витрати палива або енергії, стабільність роботи механізмів та рівень завантаження приводу. Основний акцент досліджень спрямований на оцінювання якісних характеристик отриманої тріски, серед яких фракційний склад, однорідність частинок, вміст дрібнодисперсної фракції та відповідність подрібненого матеріалу встановленим технологічним вимогам.

Для визначення якісних показників подрібненого матеріалу застосовується метод ситового аналізу, який дозволяє встановити процентний вміст окремих фракцій залежно від розмірів частинок. Додатково оцінюються форма тріски, наявність надмірно довгих або непридатних частинок, а також ступінь пошкодження волокон деревини. Для забезпечення достовірності результатів експеримент проводиться у декількох повтореннях із подальшою статистичною обробкою отриманих даних. У ході досліджень також аналізується вплив конструктивно-кінематичних параметрів машини на якість подрібнення. Встановлюються залежності між частотою обертання робочого органу, геометрією ножів, швидкістю подачі матеріалу та фракційним складом тріски. Це дозволяє визначити раціональні режими роботи подрібнювача та обґрунтувати напрями удосконалення конструкції робочих органів.

Таким чином, розроблена методика проведення польового експерименту забезпечує комплексне оцінювання роботи машин для подрібнення гілок дерев та дозволяє визначити основні якісні показники подрібненого матеріалу. Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення конструкцій подрібнювачів, підвищення ефективності використання деревної біомаси та забезпечення стабільної якості тріски для енергетичних і технологічних потреб.

Список використаних джерел

1. Думич В., Крупич О. Дослідження ефективності систем машин для виробництва паливної тріски на лісосіці. Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України, 1(36 (50)), 2025. С. 69-84.



Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Олексенко М.І.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: mykola.oleksenko@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИРОБНИЧО-ТЕХНІЧНИХ БАЗ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА РЕМОНТУ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ

Виробничо-технічна база технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного й автомобільного парку є важливою складовою ефективного функціонування аграрних підприємств. Її призначення полягає у забезпеченні належного технічного стану машин, підтриманні їх працездатності, підвищенні надійності та продовженні терміну експлуатації техніки. Раціональна організація ремонтно-обслуговуючої інфраструктури дозволяє своєчасно виконувати регламентні роботи, зменшувати простої машин і підвищувати ефективність використання технічних ресурсів господарства [1].

До складу виробничо-технічної бази входять гаражні комплекси, профілакторії, станції технічного обслуговування, паливозаправні пункти та ремонтні підприємства. У сучасних умовах функціонування аграрного сектору застосовуються різні організаційні підходи до виконання технічного обслуговування і поточного ремонту техніки. Один із них передбачає виконання всіх ремонтно-обслуговуючих робіт безпосередньо в господарстві за наявності необхідної матеріально-технічної бази, технологічного обладнання та кваліфікованого персоналу. Інший підхід базується на централізації основних ремонтних робіт на спеціалізованих станціях технічного обслуговування, тоді як у господарствах залишаються лише пункти щоденного обслуговування та виконання нескладних ремонтних операцій. Третя схема передбачає передачу більшості робіт із технічного сервісу на спеціалізовані СТО із можливістю часткового виконання окремих операцій у межах підприємства [2,4].

Для забезпечення технічного сервісу в господарствах широко використовуються комплексні гаражі-профілакторії, обладнані засобами для проведення щозмінного технічного обслуговування, ТО-1 та поточного ремонту. До складу таких комплексів також входять мийні естакади, внутрішньогосподарські дороги з твердим покриттям, заправні пункти та спеціалізовані майданчики для стоянки техніки. Визначення параметрів виробничо-технічної бази здійснюється з урахуванням чисельності персоналу, пропускної здатності обладнання, потреби в оборотних агрегатах та економічної доцільності будівництва (див. рис. 1).

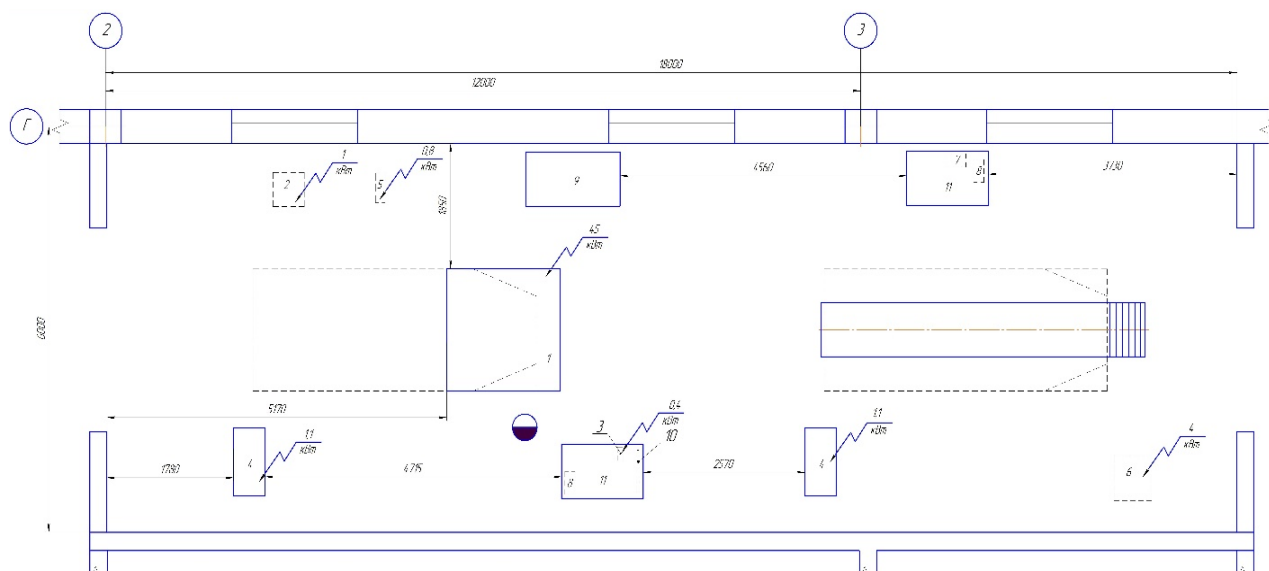


Рисунок 1. – Загальне технологічне планування розміщення обладнання виробничого корпусу комплексного гаража-профілакторію

Важливе значення у системі технічного сервісу мають станції технічного обслуговування, де виконуються найбільш складні й трудомісткі операції, що потребують спеціального обладнання та висококваліфікованих фахівців. Технологічний процес на СТО включає очищення техніки, діагностику вузлів і агрегатів, виконання регламентних робіт технічного обслуговування та поточного ремонту. Централізація окремих видів ремонтних робіт дозволяє підвищити якість технічного сервісу та оптимізувати використання матеріально-технічних ресурсів [5].

Таким чином, виробничо-технічна база технічного обслуговування і ремонту є необхідною умовою ефективної експлуатації машинно-тракторного парку. Рациональне поєднання внутрішньогосподарських ремонтних підрозділів і спеціалізованих станцій технічного обслуговування сприяє підвищенню технічної готовності машин, зниженню витрат на експлуатацію та забезпеченню безперебійної роботи техніки в умовах сучасного аграрного виробництва.

Список використаних джерел

1. Основи технічного сервісу транспортних засобів : навч. посіб. / Є. Ю. Формальчик, Р. Я. Качмар ; М-во освіти і науки України, Нац. ун-т «Львів. Політехніка». – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 304 с. : іл. – Бібліогр.: с. 301 (10 назв). – ISBN 978-617-607-582-0.

2. Дашивець Г. І. Проектування сервісних підприємств: посібник-практикум. Г. І. Дашивець, В. А. Дідур, А. М. Бондар. – Мелітополь: ТДАТУ, 2019. – 144 с.

3. Проектування сервісних підприємств ремонту машин та агрегатів АПК: навчальний посібник. [Дирда В.І., Калганков Є.В., Мельянцов П.Т. та інші] – Д.: «Герда», 2014. – 100 с.

4. SAE JA1012. A Guide to the Reliability-Centered Maintenance (RCM) Standard, Society of Automotive Engineers, 2002 (друга редакція – серпень 2011)..

5. SMART EAM. (2023). Планово-попереджувальна система обслуговування: що це таке і навіщо потрібна. <https://smarteam.com/ua/news/planovo-predupreditel'naja-sistema-obsluzhivaniya>.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Онищенко О.С.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: oleksandr.onyshchenko@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ ТЕРМОМЕХАНІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Термомеханічне оброблення є одним із перспективних способів підвищення експлуатаційних характеристик металевих матеріалів, що поєднує механічний та термічний вплив на структуру металу [1]. Використання такого підходу дозволяє цілеспрямовано змінювати фізико-механічні властивості сталей, забезпечуючи підвищення міцності, зносостійкості та опору руйнуванню без істотного погіршення пластичних характеристик матеріалу. Особливої актуальності набуває застосування термомеханічного зміцнення для робочих органів ґрунтообробних машин, які працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування та динамічних навантажень.

Сутність термомеханічного оброблення полягає у поєднанні пластичної деформації та термічного впливу, що забезпечує формування структури металу з підвищеним рівнем дефектності кристалічної ґратки. Завдяки цьому створюються умови для ефективного протікання фазових перетворень та зміцнення матеріалу. Важливою перевагою такого методу є досягнення високих показників міцності при незначному зниженні пластичності, а також підвищення ударної в'язкості у порівнянні зі сталями після традиційного гартування і низького відпуску.

У проведених дослідженнях передбачено застосування високотемпературного термомеханічного оброблення, яке включає нагрівання сталі до аустенітного стану з подальшим пластичним деформуванням та гартуванням. Така технологія сприяє підвищенню стійкості металу до крихкого руйнування, зменшує ймовірність утворення тріщин під час термічної обробки та знижує схильність до відпускнуї крихкості. Додаткове проведення низького

відпуску в межах 100–200 °С забезпечує стабілізацію отриманих міцнісних характеристик. [2]

Технологічна карта термомеханічного зміцнення крила стрілкової лапи представлена на рис. 1.

№ Етап процесу	① Підготовка заготовки	② Нагрів до аустенітного стану	③ Пластичне деформування (формування профілю)	④ Охолодження (гартування)	⑤ Низький відпуск (стабілізація властивостей)
					
	Очищення поверхонь від забруднень, знеуглецюваного шару та окалини	Нагрів робочої поверхні леза вище критичної точки A_3 до аустенітного стану	Пластичне деформування для формування заданого профілю крила стрілкової лапи	Охолодження для отримання структури підвищеної міцності (гартування)	Низький відпуск у температурному інтервалі 100–200 °С для стабілізації міцнісних характеристик
 Обладнання	Дробоструминна камера, щітки	Піч опору або індукційна піч	Прес гідравлічний (штампи)	Ванна для охолодження (вода або масло)	Піч для відпуску
 Режим оброблення	–	$T > A_3$ ($\approx 820\text{--}880\text{ }^\circ\text{C}^*$) Витримка 5–15 хв	Пластична деформація (ступінь деформації 10–20 % ^{**})	Швидке охолодження до температури нижче 50 °С	$T = 100\text{--}200\text{ }^\circ\text{C}$ Витримка 1–2 год Охолодження на повітрі
 Контроль	Візуальний контроль чистоти поверхні	Контроль температури (термопара, пірометр)	Контроль геометрії профілю	Контроль швидкості охолодження	Контроль температури та витримки
 Результат етапу	Підготовлена заготовка	Аустенітний стан робочої поверхні	Сформований профіль леза	Зміцнена структура (мартенсит)	Стабілізовані підвищені міцнісні характеристики
	Кінцевий результат: Підвищення зносостійкості та довговічності робочої поверхні крила стрілкової лапи.		* Значення температури залежить від складу сталі. ** Ступінь деформації може коригуватись залежно від вимог до профілю та властивостей матеріалу.		

Рисунок 1 – Технологічна карта на технологічний процес термомеханічного зміцнення різальних елементів стрілкової культиваторної лапи ChatGPT (Версія) [Штучний інтелект]. (2026). Згенеровано для ілюстрації на основі текстового запиту про технологічний процес термомеханічного зміцнення

Метод високотемпературного термомеханічного зміцнення було застосовано до крила стрілкової лапи ґрунтообробного робочого органу. Робочу поверхню леза нагрівали до аустенітного стану з подальшим пластичним деформуванням для формування необхідного профілю та зміцнення поверхневого шару. Заключним етапом технологічного процесу був низький відпуск, який сприяв стабілізації структури та підвищенню довговічності деталі. [3, 4]

Таким чином, застосування термомеханічного оброблення є ефективним способом підвищення експлуатаційної надійності робочих органів сільськогосподарських машин. Використання високотемпературного термомеханічного зміцнення забезпечує покращення комплексу механічних властивостей сталі, підвищення опору зношуванню та збільшення ресурсу деталей, що працюють в умовах значних механічних навантажень і абразивного впливу.

Список використаних джерел

1. Денисенко, М. І. Підвищення технічного ресурсу і довговічності робочих органів ґрунтообробних сільськогосподарських машин. М. І. Денисенко

Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : зб. наук. пр. - Кропивницький : ЦНТУ, 2022. - Вип. 5(36). - Ч. 1. - С. 40-47..

2. С.М. Уминський, Б.В. Лебедев, П.І. Осадчук. Технологія конструкційних матеріалів. (Навчальний посібник для студентів вищих учбових закладів), Одеса: Видавництво та друкарня «ТЕС»., 2018 р.178с..

3. Bagautdinova I.I.Cylindrical interfaces repair technique using electric resistance welding of metal powder materials. Gaskarov I.R., Farkhshatov M.N., Saifullin R.N., Fayurshin A.F., Pavlov A.P. Results in Engineering. 2022. Т. 16. С. 100-699.

4. «Спосіб зміцнення робочих органів сільськогосподарських машин». Патент на винахід №2002031900. Бюл.№10, 2002 р. (Автори Саїнсус О.Д., Черновол М.І., Кулешков Ю.В., Кропівний В.Н., Аулін В.В., Надворний Б.Є.).

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Русаков М.Р.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: maksym.rusakov@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ЕКСПЛУАТАЦІЙНА ОЦІНКА МАШИННО-ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТУ ДЛЯ ПЕРЕДПОСІВНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ В ТЕХНОЛОГІЇ ОРГАНІЧНОГО ВИРОЩУВАННЯ ОЗИМОЇ ПШЕНИЦІ

Ефективність передпосівного обробітку ґрунту значною мірою визначає якість підготовки посівного ложа, рівномірність загортання насіння та формування сприятливих умов для росту й розвитку озимих культур. В умовах органічного землеробства особливого значення набуває застосування сучасних ґрунтообробних агрегатів, здатних забезпечувати високу якість обробітку за мінімального негативного впливу на структуру ґрунту. Тому проведення експлуатаційної оцінки роботи машинно-тракторного агрегату для передпосівного обробітку є важливим етапом обґрунтування ефективності використання технічних засобів у технології вирощування озимої пшениці [1].

Для забезпечення виконання технологічного процесу відповідно до агротехнічних вимог необхідно здійснювати правильне налаштування та регулювання робочих органів агрегату, контролювати технічний стан машини й своєчасно усувати можливі несправності. Раціональна організація роботи агрегату дозволяє підвищити продуктивність праці, знизити витрати паливно-мастильних матеріалів і забезпечити якісний обробіток ґрунту [2]. Під час дослідження виконано експлуатаційну оцінку культиваторного агрегату для роботи в легких умовах обробітку, що дало змогу визначити оптимальний склад

агрегату, його продуктивність, рівень енергетичних витрат та ефективність використання робочого часу зміни.

Вихідними умовами для проведення оцінки було виконання передпосівного поверхневого обробітку ґрунту на агрофоні лущеної стерні із використанням трактора John Deere 6М 250 у складі з передпосівним культиватором SWIFTER SN 5000. Проведення обробітку ґрунту у стані фізичної стиглості забезпечує оптимальне кришення ґрунту, високу якість передпосівної підготовки та зменшення тягового опору агрегату. Це сприяє підвищенню продуктивності машинно-тракторного агрегату та мінімізації витрат праці на виконання технологічної операції [3-5].

У результаті проведеної експлуатаційної оцінки встановлено, що використання сучасного культиваторного агрегату забезпечує ефективне виконання передпосівного обробітку ґрунту в системі органічного вирощування озимої пшениці.

На основі виконаних розрахунків визначено раціональний склад машинно-тракторного агрегату для реалізації технологічних операцій у інноваційній технології, який включає трактор John Deere 6М 250 у поєднанні з агрегатом SWIFTER SN 5000. Встановлено, що оптимальним є використання передачі С1 зі ш видкістю руху 10,1 км/год, яка забезпечує найбільш ефективний режим роботи. Хоча застосування передачі В3 характеризується підвищеною продуктивністю, вона супроводжується надмірним запасом потужності двигуна, що призводить до його недовантаження та зниження ефективності експлуатації.

З метою підвищення продуктивності та раціонального використання часу роботи машинно-тракторного агрегату John Deere 6М 250 + SWIFTER SN 5000 обґрунтовано доцільність застосування човникового способу руху, який забезпечує максимальний коефіцієнт використання часу ($\varphi = 0,959$).

Раціональне комплектування агрегату, правильне регулювання робочих органів і дотримання оптимальних агротехнічних умов сприяють підвищенню якості обробітку, зниженню енерговитрат та покращенню техніко-економічних показників виконання технологічного процесу.

Встановлено, що технічна продуктивність агрегату становить 4,98 га/год, а змінна продуктивність досягає 19,90 га/зміну. При цьому питомі витрати пального складають 8,85 кг/га, а трудомісткість виробничого процесу – 0,68 люд.-год/га, що свідчить про достатньо високий рівень ефективності його використання.

Список використаних джерел

1. Кудринський, Р. Б. Методичний підхід до обґрунтування експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату за енергоощадних технологій. Р. Б. Кудринський, В. І. Днесь, С. О. Крупич. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 52. – С. 48-55. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.48-55>.

2. Пугач А. М. Система «Машина-Поле» : навч. посіб. А. М. Пугач, О. М. Кобець, Є. І. Лепеть ; ДДАЕУ. – Дніпро : Журфонд, 2025. – 166 с. – Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/13013>.

3. Ess D., Morgan M. T. The Precision-Farming Guide for Agriculturists. – Moline, Illinois: Deere & Company, 1997. – 117 p.

4. Грицишин М. І. Методологічні основи комплектування МТП аграрних підприємств в умовах обмеженого ресурсного забезпечення. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. ННЦ «ІМЕСГ». 2014. Вип. 99, т. 2. С. 392–400.

5. Кудринський Р. Б., Грицишин М. І. Обґрунтування ефективних технологічних комплексів машин для виробництва продукції рослинництва в сільськогосподарських підприємствах. Механізація та електрифікація сільського господарства: загальнодерж. зб. ННЦ «ІМЕСГ». 2015. Вип. № 1 (100). С. 250–259.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Трицяк В.І.,

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
e-mail: volodymyr.trytiak@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСНОВИ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ У ПОЛЬОВИХ УМОВАХ

Раціональна організація машиновикористання є важливою складовою ефективного виконання технологічних операцій у рослинництві, оскільки забезпечує підвищення продуктивності агрегатів, зменшення витрат ресурсів та покращення якості виконання польових робіт. Важливим етапом є правильна підготовка машинно-тракторного агрегату до роботи, вибір раціонального способу руху по полю та належна організація робіт у загінці.

Підготовка агрегату до роботи передбачає ретельний технічний огляд усіх вузлів і деталей із усуненням виявлених несправностей, підтягуванням кріплень та заміною зношених елементів. Також здійснюється перевірка комплектності агрегату, наявності допоміжних пристроїв і правильності складання. Обов'язковим є проведення випробування на холостому ході та в робочому режимі. Окрему увагу приділяють регулюванню робочих органів: встановлюють раму культиваторного агрегату в горизонтальне положення та налаштовують глибину обробітку, забезпечуючи правильне положення стрілчастих лап відносно поверхні ґрунту [1].

Вибір способу руху агрегату по полю здійснюється з урахуванням агротехнічних вимог, конструктивних особливостей агрегату, конфігурації поля та мінімізації непродуктивних витрат часу. Основними схемами руху є човниковий, діагональний, діагонально-перехресний та круговий способи [2-4]. Для поверхневого обробітку ґрунту культиваторними агрегатами найбільш доцільним є човниковий спосіб руху, який забезпечує рівномірність обробітку та високу продуктивність (див. рис. 1.).

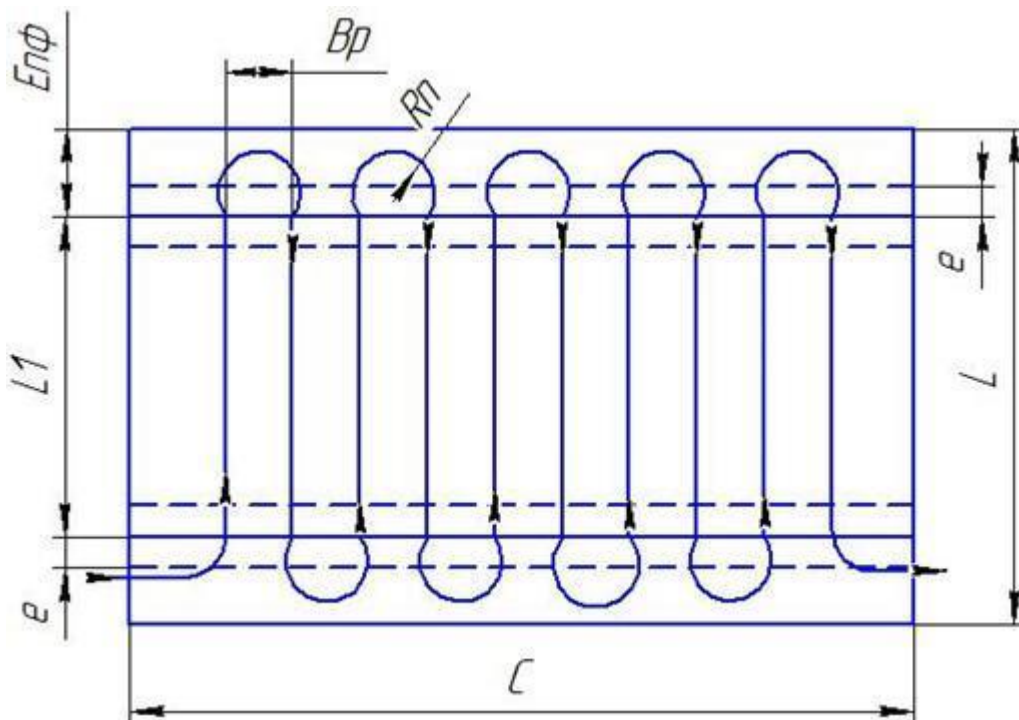


Рисунок 1. – Схема підготовки поля і робота культиваторного агрегату

Для запобігання огріхам передбачають перекриття суміжних проходів на 10–15 см, а після перших проходів виконують контроль якості обробітку та за потреби проводять додаткове регулювання.

Підготовка поля до виконання робіт включає усунення перешкод, що можуть заважати руху агрегату, відбиття поворотних смуг, розбивку поля на загони та визначення лінії першого проходу, яку прокладають уздовж гону з відступом приблизно 1 м. Це забезпечує правильну організацію руху агрегату та підвищує ефективність виконання технологічної операції.

Таким чином, раціональна організація машиновикористання, що включає якісну підготовку агрегату, обґрунтований вибір способу руху та належну організацію роботи на полі, дозволяє підвищити продуктивність машинно-тракторних агрегатів, забезпечити високу якість обробітку ґрунту та знизити витрати часу і ресурсів.

Список використаних джерел

1. Кудринський Р.Б. Методичний підхід до обґрунтування експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату за енергоощадних технологій. Р.Б.

Кудринський, В.І. Днесь С. О. Крупич. Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2022. – Вип. 52. – С. 48-55. <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2022.52.48-55>.

2. Сіренко Ю., Калнагуз О. Раціональний поворот–один із шляхів підвищення продуктивності роботи МТА. Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2021.–238 с., 47.

3. Мікуліна, М. О., Поливаний, А. Д., & Стегній, В. О. (2023, September). Вплив раціональної компоновки МТА на продуктивність та якість обробітку ґрунту. In The 1 st International scientific and practical conference “Global science: prospects and innovations”(September 7-9, 2023) Cognum Publishing House, Liverpool, United Kingdom. 2023. 282 p. (p. 8)..

4. Шуліка С.А. Експлуатація машин та обладнання. Електронний підручник [Електронний ресурс]] : навч. підр. для студ. тех. вузів III-IV рівнів акредитації / С.А Шуліка, Л.А. Дяченко, В.М.Кіяшко, В.І. тихоліз та ін. Київ : ДУ «Науково-методичний центр вищої та фахової передвищої освіти»: https://evgivanov.github.io/expl_html_book/index.html.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Ярчевський В.А.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: viktor.yarchevskiy@st.pdaa.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ БПЛА

Сучасний розвиток аграрного виробництва потребує впровадження інноваційних технологій механізації технологічних процесів, спрямованих на підвищення ефективності використання ґрунтових ресурсів та забезпечення екологічної стійкості землеробства. Одним із важливих агротехнічних заходів є поверхневий обробіток ґрунту, який забезпечує подрібнення та заробляння поживних залишків, збереження вологи та створення сприятливих умов для наступних технологічних операцій. У зв'язку з розвитком цифрових технологій та безпілотних літальних апаратів актуальним є дослідження механізації виробничого процесу поверхневого обробітку ґрунту із застосуванням БПЛА для оцінювання ефективності заробляння поживних залишків.

У процесі досліджень проведено аналіз сучасних технологій поверхневого обробітку ґрунту та визначено основні фактори, що впливають на якість виконання технологічного процесу. Особливу увагу приділено роботі культиваторних і дискових агрегатів, які забезпечують подрібнення рослинних решток та їх рівномірне загорання у верхній шар ґрунту. Встановлено, що якість заробляння поживних залишків безпосередньо впливає на інтенсивність процесів мінералізації органічної речовини, накопичення вологи та формування структури ґрунту.

Для оцінювання ефективності роботи ґрунтообробних агрегатів використано безпілотні літальні апарати, оснащені засобами фото- та відеофіксації. Використання БПЛА дозволило оперативно здійснювати моніторинг стану поверхні поля, визначати рівномірність розподілу поживних залишків, ступінь їх подрібнення та якість заробляння після проходу агрегату. Отримані аерофотознімки використовувалися для цифрового аналізу обробленої поверхні та визначення зон із недостатнім або нерівномірним загоранням рослинних решток.

У ході експериментальних досліджень визначалися основні експлуатаційні показники роботи агрегатів: продуктивність, глибина обробітку, витрати палива, ступінь перекриття проходів та рівень заробляння поживних залишків. Встановлено, що використання сучасних ґрунтообробних машин у поєднанні з цифровим моніторингом за допомогою БПЛА дозволяє підвищити точність виконання технологічного процесу та забезпечити більш ефективне використання поживних решток як джерела органічної речовини.

Результати досліджень підтвердили, що застосування БПЛА значно підвищує оперативність контролю якості поверхневого обробітку ґрунту та дозволяє своєчасно виявляти технологічні недоліки під час виконання польових робіт. Використання цифрових методів оцінювання сприяє оптимізації режимів роботи агрегатів, зниженню енерговитрат і підвищенню ефективності механізованих процесів у системах точного землеробства [1].

Таким чином, механізація виробничого процесу поверхневого обробітку ґрунту з використанням БПЛА для дослідження ефективності заробляння поживних залишків є перспективним напрямом розвитку сучасних агротехнологій. Запропонований підхід забезпечує підвищення якості виконання технологічних операцій, раціональне використання рослинних решток та створює передумови для впровадження цифрових систем управління агровиробництвом [2, 3].

Застосування безпілотних літальних апаратів у поєднанні з сучасними засобами механізації дозволяє оперативно отримувати об'єктивну інформацію про стан поверхні поля, рівномірність обробітку та ступінь заробляння поживних залишків. Це сприяє підвищенню точності технологічних операцій, мінімізації непродуктивних витрат пального та зменшенню негативного впливу на ґрунтове середовище. Використання цифрових методів моніторингу також створює можливості для оперативного коригування параметрів роботи агрегатів безпосередньо в польових умовах.

Додатковою перевагою запропонованого підходу є підвищення ефективності використання органічної речовини рослинних залишків як важливого елемента підтримання родючості ґрунтів. Рівномірне загортання пожнивних решток забезпечує активізацію процесів гумусоутворення, покращення структури ґрунту та збереження продуктивної вологи, що особливо важливо в умовах дефіциту опадів і змін клімату.

Отримані результати досліджень можуть бути використані як науково-практична основа для подальшого розвитку елементів точного землеробства, удосконалення технологій поверхневого обробітку ґрунту та створення інтегрованих систем цифрового контролю якості польових робіт у сучасному аграрному виробництві.

Список використаних джерел

1. Зубко В.М.. Експериментальні дослідження ефективності використання безпілотних літальних апаратів при вирощуванні агрокультур. *Machinery & Energetics*, 12(4) 2021. С. 117-128
2. Ворох В., Зацерковний В.. Використання безпілотних літальних апаратів в задачах прецизійного землеробства. *Технічні науки та технології*, (4 (38)), 2024. С. 336-349.
3. Зацерковний В., Ворох, В.. Оцінка перспектив застосування БПЛА для внесення засобів захисту рослин в задачах прецизійного землеробства. *Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва*, (1), 2025. С. 130-145.

Ляшенко С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: sergii.liashenko@pdau.edu.ua

Яценко В.Ю.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: vasyi.yatsenko@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ЗАСОБУ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ НА ПАЛИВНИЙ МАТЕРІАЛ

Рациональне використання деревних відходів та гілок після обрізування зелених насаджень є важливим напрямом розвитку сучасних енергоощадних технологій і підвищення рівня екологічної безпеки. Значні обсяги рослинних залишків, які утворюються в комунальному та аграрному секторах, можуть ефективно використовуватися як сировина для виробництва паливної тріски. У зв'язку з цим особливої актуальності набувають дослідження експлуатаційних показників засобів механізації для подрібнення гілок дерев з метою підвищення

ефективності їх роботи та забезпечення належної якості отриманого паливного матеріалу.

У процесі досліджень проведено аналіз конструктивних особливостей засобу механізації для подрібнення деревної сировини та визначено основні фактори, що впливають на його продуктивність і енергоефективність. Особливу увагу приділено конструкції робочих органів, частоті обертання подрібнювального механізму, способу подачі матеріалу та характеристикам приводу. Встановлено, що ефективність процесу подрібнення значною мірою залежить від геометричних параметрів ножів і режимів роботи машини [1].

Під час експлуатаційних випробувань визначалися основні техніко-експлуатаційні показники роботи агрегату: продуктивність подрібнення, витрати палива, енергоємність процесу, стабільність функціонування робочих органів та якість отриманої тріски. Дослідження проводилися за різних значень вологості та діаметра гілок, що дозволило оцінити вплив властивостей сировини на ефективність роботи подрібнювача. Встановлено, що використання удосконалених ножів забезпечує більш стабільний процес різання та зменшення динамічних навантажень на привід.

Результати досліджень показали, що раціональний вибір конструктивно-кінематичних параметрів машини дозволяє забезпечити високу продуктивність процесу подрібнення при одночасному зниженні питомих енерговитрат. Визначено оптимальні режими роботи подрібнювача, за яких досягається однорідний фракційний склад паливної тріски, що є важливим для її подальшого використання в енергетичних установках.

Окремо проведено оцінювання економічної та екологічної ефективності використання засобу механізації. Використання подрібнених деревних відходів як альтернативного палива дозволяє зменшити витрати на енергоносії, скоротити обсяги накопичення рослинних залишків та знизити негативний вплив на навколишнє середовище. Впровадження таких технологій сприяє розвитку локальних біоенергетичних систем та підвищенню рівня енергетичної самодостатності територіальних громад.

Таким чином, проведені дослідження підтверджують ефективність використання засобів механізації для подрібнення гілок дерев на паливний матеріал. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення конструкцій подрібнювачів, оптимізації режимів їх роботи та підвищення ефективності використання деревної біомаси як відновлюваного енергетичного ресурсу.

Список використаних джерел

1. Пасаман Б. Ф., Гунько Ю. Л. Раціональні параметри дискових робочих органів рубальних машин. *Сільськогосподарські машини*, (25), 2013. С. 101-105.



Павлик Д.Г.,
здобувач вищої освіти ступеня бакалавра,
Лапенко Г.О.,
канд. техн. наук, доцент, професор кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: grygorii.lapenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ КОМПЛЕКСУ МАШИН ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ТА ЗБИРАННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ В «ФГ ПАВЛИК» ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Соняшник є однією з провідних олійних культур України, що відіграє важливу роль у структурі сільськогосподарського виробництва та формуванні експортного потенціалу аграрного сектору. Висока рентабельність його вирощування зумовлює широке впровадження інтенсивних технологій, які базуються на комплексній механізації виробничих процесів, використанні високопродуктивних гібридів та оптимізації агротехнічних операцій. У сучасних умовах особливої актуальності набуває питання раціонального формування машинно-тракторного парку, який забезпечує виконання всіх технологічних операцій у встановлені строки з мінімальними витратами ресурсів [1, 2, 3].

У ФГ «Павлик» Полтавської області технологія вирощування соняшнику організована як послідовний комплекс взаємопов'язаних операцій, що охоплює основний та передпосівний обробіток ґрунту, сівбу, догляд за посівами, збирання та транспортування врожаю. Кожен етап технологічного процесу виконується із застосуванням спеціалізованої техніки, що забезпечує стабільність агротехнічних параметрів та високу продуктивність виробництва.

Основний обробіток ґрунту у господарстві виконується за допомогою плуга Pottinger Servo Plus 2018, агрегатованого з трактором Claas Axion 930 потужністю 330 к.с. Даний агрегат забезпечує глибоку оранку на рівні 25–30 см, що сприяє формуванню оптимальної структури орного шару, покращенню водопроникності та накопиченню вологи в ґрунті.

Після основного обробітку застосовується дискова борона Lemken Rubin, яка виконує подрібнення грудок, вирівнювання поверхні поля та часткове переміщення рослинних решток. Це створює сприятливі умови для подальшого передпосівного обробітку.

Передпосівна підготовка ґрунту здійснюється культиватором Salford 700, який забезпечує вирівнювання поля, знищення сходів бур'янів та формування дрібногрудочкуватої структури ґрунту, необхідної для якісного висіву насіння.

Для виконання окремих енергоємних операцій у господарстві також використовується трактор К-700, який застосовується як універсальна тягово-потужна машина.

Посів культури здійснюється сівалкою точного висіву Great Plains YP825A, яка забезпечує рівномірне розміщення насіння в ґрунті та дотримання заданої густоти стояння рослин. Ширина міжрядь становить 70 см, що є оптимальним для соняшнику в умовах Полтавської області.

Глибина загортання насіння регулюється в межах 5–7 см залежно від вологості ґрунту. Використання сівалки точного висіву дозволяє мінімізувати пропуски та двійники, що безпосередньо впливає на формування рівномірних сходів та потенціал урожайності культури.

Система догляду за посівами включає міжрядний обробіток, внесення засобів захисту рослин та агротехнічний контроль стану посівів.

Міжрядний обробіток виконується культиватором КРН-5,6, який забезпечує розпушення ґрунту між рядками, знищення бур'янів та покращення аерації кореневої системи рослин.

Для захисту посівів від бур'янів, шкідників та хвороб застосовується обприскувач ОПШ-3000, ширина захвату якого становить 18–24 м. Такий параметр забезпечує високу продуктивність обробки та рівномірність нанесення робочого розчину по всій площі поля, що є важливим фактором збереження врожайності.

Для виконання допоміжних операцій у господарстві використовується телескопічний навантажувач JSV 531-70, який забезпечує механізацію навантажувально-розвантажувальних робіт.

Збирання соняшнику виконується зернозбиральним комбайном ПАЛЕССЕ 1218, який оснащується спеціалізованою жаткою для соняшнику John Greaves ЖНС 7.4. Така комбінація дозволяє ефективно відокремлювати кошики, мінімізувати втрати насіння та забезпечувати високу пропускну здатність агрегату.

Якість збирання значною мірою залежить від налаштування робочих органів комбайна, швидкості руху та вологості насіння, що вимагає чіткого дотримання технологічних регламентів.

Транспортування зібраного врожаю здійснюється причепами ПТС-4 та ПТС-9, а також автомобілем ЗІЛ-130. Це забезпечує безперервність збирального процесу та своєчасне доставлення продукції до місць зберігання або реалізації [4].

У господарстві спостерігається стабільне вирощування соняшнику на площах від 250 до 350 га залежно від року. Динаміка виробничих показників за 2023–2025 роки наведена в таблиці 1.

Аналіз показує, що найбільш стабільні та високі показники отримано у 2025 році, що пов'язано з розширенням посівних площ до 350 га та використанням більш продуктивних гібридів, зокрема селекції Syngenta. Незначне зниження урожайності у 2024 році пояснюється зміною структури гібридів та впливом погодних умов, характерних для вегетаційного періоду.

Табл. 1

Рік	Площа, га	Урожайність, ц/га	Використані гібриди
2023	300	25	Алькантара, Теос
2024	250	24	Теос, Ласкала, Алькантара
2025	350	27	Ласкала, Теос (Syngenta)

Загалом спостерігається позитивна тенденція до підвищення ефективності виробництва соняшнику, що забезпечується поєднанням сучасної технології вирощування та раціонального використання машинно-тракторного парку.

Список використаних джерел

1. Вирощування соняшнику: технологія від сівби до збирання // SuperAgronom. Режим доступу: <https://superagronom.com/articles/720-tehnologiya-viroschuvannya-sonyashniku-etapi-nyuansi-vid-sivbi-do-zbirannya>
2. Соняшник: технологія вирощування, норми висіву, обробіток ґрунту // SuperAgronom. Режим доступу: <https://superagronom.com/articles/720-tehnologiya-viroschuvannya-sonyashniku-etapi-nyuansi-vid-sivbi-do-zbirannya>
3. Технологія вирощування соняшнику: основні етапи // AgroPortal. Режим доступу: <https://agroportal.ua/agrocheck/special-projects/vpliv-terminiv-posivu-na-produktivnist-gibridiv-sonyashniku>
4. Кравчук В.І., Мельник О.М. Машини для обробітку ґрунту та сівби: навчальний посібник. Харків: ХНТУСГ ім. Петра Василенка, 2015. – 320 с. (с. 5–12 – обробіток ґрунту; с. 182-184 - машини для сівби)



Рижкова Т.Ю., старший викладач
кафедри будівництва та професійної освіти,
e-mail: tetiana.ryzhkova@pdau.edu.ua

Ветохін В.І., докт. техн. наук, доцент,
e-mail: volodymyr.vetokhin@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

НАВЧАЛЬНО-ДОСЛІДНА ЛАБОРАТОРНА УСТАНОВКА ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНИХ ПРОЦЕСІВ ЯК ІНСТРУМЕНТ ФОРМУВАННЯ ІНЖЕНЕРНИХ КОМПЕТЕНТНОСТЕЙ

Впровадження високотехнологічних ґрунтообробних машин, удосконалення конструкцій робочих органів, підвищенням вимог до точності інженерних розрахунків є невід'ємною частиною розвитку сучасного машинобудування та агроінженерії. Одним із ефективних засобів формування професійних компетентностей майбутніх інженерів є застосування навчально-дослідного устаткування, що дозволяє моделювати реальні технологічні процеси, проводити експериментальні дослідження, виконувати аналіз параметрів роботи машин.

Розроблена інноваційна лабораторна установка у вигляді ґрунтового міні-каналу дає можливість проводити дослідження взаємодії ротаційних ґрунтообробних робочих органів із ґрунтом і проводити аналіз параметрів у реальному часі [1]. Конструкційні особливості створеного устаткування передбачають синхронну взаємодію механічних та електронних його частин. Таке поєднання забезпечує комплексність підходу до вивчення роботи ґрунтообробних машин, дозволяє практично опанувати студентами методи експериментального машинобудування, проводити оптимізацію конструктивних параметрів ґрунтообробних знарядь та досліджувати технологічні процеси обробітку ґрунту.

Розроблене устаткування ефективно інтегрується у навчальний процес підготовки майбутніх фахівців як з машинобудування, так і з агроінженерії. На етапі ознайомлення з устаткуванням та принципом роботи проводиться: вивчення конструкції ґрунтового міні-каналу, кінематичної схеми приводу, вивчення електромеханічної системи керування, принципів роботи пульта керування та системи реєстрації даних; при цьому передбачається з'ясування особливостей призначення установки для моделювання процесів ґрунтообробітку й ознайомлення з типами ротаційних робочих органів і їх функціями. На етапі налаштування режимів роботи та підготовки до проведення експериментів: встановлення параметрів руху і обертання, перевірка стабільності роботи приводу та вузлів передачі, контроль безпечної експлуатації; при цьому передбачається підбір режимів відповідно до агротехнічних вимог, узгодження швидкості переміщення бункеру для забезпечення ефективної взаємодії робочого органу з ґрунтом. Наступний етап передбачає проведення

дослідів і реєстрацію параметрів: виконання експериментів із фіксацією миттєвих і середніх значень параметрів у реальному часі, формування навичок роботи з вимірювальними електронними системами та генерацією одержаних результатів; при цьому проводиться оцінювання якості обробки ґрунту, аналіз впливу режимів роботи на ступінь взаємодії робочого органу з ґрунтом. На етапі аналізу результатів і формування проєктних рекомендацій: проводиться обробка даних, встановлення експериментальних залежностей, оцінка ефективності роботи дослідного зразка знаряддя, підготовка рекомендацій щодо удосконалення конструкції; а також передбачається визначення оптимальних режимів для практичного застосування одержаних результатів, обґрунтування рекомендацій щодо підвищення якості обробки ґрунту та продуктивності машин.

Запропонований перелік етапів є орієнтовним і може бути доповнений та розширений у подальшому з урахуванням впровадження проєктної діяльності в освітній процес, виконання наукових досліджень та інших видів навчально-дослідної роботи. Отже, використання навчально-дослідної лабораторної установки в освітньому процесі сприяє формуванню технічного мислення, навичок роботи з вимірювальними системами, інженерного аналізу та проєктування, що є важливими складовими професійної компетентності здобувачів вищої освіти інженерного профілю.

Список використаних джерел

1. Рижкова Т.Ю., Ветохін В.І., Амосов В.В. Деякі конструкційні особливості ґрунтового міні-каналу для досліджень роботи ротаційних знарядь. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали VI Міжнародна науково-практична конференція молодих учених (м. Запоріжжя, 02 лютого - 27 лютого 2026). С. 228-230. URL: <https://elar.tsatu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/fcb2da4d-267a-497b-a061-fa1aebbf2f30/content#page=228>.



Сідак С. В.

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: serhii.sidak@st.pdau.edu.ua

Канівець О.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЯГОВОГО ОПОРУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

Продуктивність та паливна економічність машино-тракторних агрегатів залежать від багатьох факторів і умов виробництва, і, насамперед, від енергоємності процесу [1]. Головним показником енергоємності процесу є тяговий опір сільськогосподарських машин.

Запропонована методика визначення тягового опору полягає в тому, що при робочому ході трактора за рахунок зниження подачі палива досягають частоти обертання колінчастого валу, що відповідає максимальному моменту. Миттєво збільшують подачу палива до максимальної. При досягненні фіксованої частоти обертання колінчастого валу двигуна під час розгону трактора вимірюють кутове прискорення колінчастого валу [1].

Під час розгону агрегату на горизонтальній ділянці рівняння руху трактора [2] має вигляд:

$$M_{\tau} \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}} = P_{\text{руш}} - P_f - P_{\text{кр}} \quad (1)$$

де M_{τ} – власна маса трактора, кг; $\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}}$ – прискорення трактора під час розгону з робочими машинами, м/с²; $P_{\text{руш}}$ – рушійна сила трактора, Н; P_f – опір перекочуванню, Н; $P_{\text{кр}}$ – тягове зусилля трактора, Н.

При цьому рівняння руху сільськогосподарських машин має вигляд:

$$M_M \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}} = P_{\tau} - R_M \quad (2)$$

де M_M – наведена маса сільськогосподарських машин, кг, P_{τ} – сила тяги трактора ($P_{\tau} = P_{\text{кр}}$), Н; R_M – тяговий опір сільськогосподарських машин, Н.

Аналогічно вимірюється прискорення колінчастого вала під час розгону трактора без сільськогосподарських машин.

Під час розгону трактора без сільськогосподарських машин ($P_{\text{кр}} = 0$) на горизонтальній ділянці рівняння його руху має вигляд:

$$M_{\tau} \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{хх}} = P_{\text{руш}} - P_f \quad (3)$$

де $\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{хх}}$ – прискорення трактора під час розгону без навантаження, м/с².

За рівняннями (1), (2) та (3) визначається тяговий опір сільськогосподарських машин:

$$R_M = M_\tau \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{хх}} - M_\tau \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}} - M_M \cdot \left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}} \quad (4)$$

Прискорення трактора під час розгону з робочими машинами та без навантаження пов'язане з відповідним кутовим прискоренням колінчастого вала двигуна за такими залежностями:

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{роб}} = \frac{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{кв.роб.}} \cdot r_k \cdot (1-\delta)}{i_{\text{ГР}}} \quad (5)$$

$$\left(\frac{dv}{dt}\right)_{\text{хх}} = \frac{\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{кв.хх}} \cdot r_k \cdot (1-\delta)}{i_{\text{ГР}}} \quad (6)$$

де $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{кв.роб.}}$ – прискорення колінчастого вала двигуна з робочою машиною, c^2 ; $\left(\frac{d\omega}{dt}\right)_{\text{кв.хх}}$ – прискорення колінчастого вала двигуна під час розгону трактора без навантаження, c^2 ; r_k – радіус кочення ведучого колеса, м; δ – коефіцієнт пробуксовки трактора; $i_{\text{ГР}}$ – загальне передавальне число трансмісії.

Коефіцієнт буксування визначається за тяговою характеристикою трактора на відповідній передачі при заданій частоті обертання колінчастого вала двигуна. Визначення кутового прискорення колінчастого вала двигуна здійснюється наступним чином: на трактор встановлюють пристрій для вимірювання прискорень колінчастого вала двигуна, проводять калібрування згідно з інструкцією із експлуатації приладу [3] і приступають до виконання технологічних операцій із визначення значення опору робочої машини.

Така методика має і ряд недоліків: складність визначення значень наведеної маси трактора різних передачах; некоректність використання значення коефіцієнта буксування за тяговою характеристикою трактора на відповідному тлі на відповідній передачі; складність визначення значень прискорення машинно-тракторного агрегату через кутове прискорення колінчастого вала двигуна через буксування ходового апарату.

Для вирішення проблеми визначення наведеної маси трактора виконується додатковий розгін трактора, довантаженого відомою масою, з вимірюванням прискорення трактора в момент досягнення колінчастим валом двигуна номінальної частоти обертання. Щодо визначення прискорення машинно-тракторного агрегату, то до нього приєднується вимірювальне колесо з можливістю фіксації та визначення його кутового прискорення в момент досягнення колінчастим валом двигуна номінальної частоти обертання.

Список використаних джерел

1. Belogusev V., Egorov A., Kozlov K. A method and instruments to identify the torque, the power and the efficiency of an internal combustion engine of a wheeled vehicle. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*. 2019. P. 620-629. https://doi.org/10.1007/978-3-030-22063-1_70.

2. Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. Fundamental realization of longitudinal slip efficiency of tractor wheels in a tillage practice. *Soil and Tillage Research*. 2021. Vol. 205. P. 104765. <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104765>.

3. E. Nataraj, Pranay Sarkar, Hifjur Raheman, Ganesh Upadhyay, Embedded digital display and warning system of velocity ratio and wheel slip for tractor operated active tillage implements. *Journal of Terramechanics*. 2021. Vol. 97. P. 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2021.06.003>.

Скоряк Ю.Б.,

старший викладач кафедри механічної та електричної інженерії

e-mail: yuliia.skoriak@pdau.edu.ua

Бабенко В.В.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: vadym.babenko@st.pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м. Полтава, Україна

ОСОБЛИВОСТІ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ ПО ШИРИНІ ЗЕРНОСКЛАДУ

Метою дослідження є встановлення закономірностей переміщення зернової маси по ширині зерносховища та отримання математичної моделі розподілу швидкостей. Попередніми дослідженнями встановлено, що зерно вивантажується пружинним робочим органом з ділянки бункера, який найбільш віддалений від вивантажувального вікна [1, 2]. Причину цього явища можна пояснити тим, що матеріал, який переміщується гвинтовою поверхнею пружини, рухається інтенсивніше порівняно з матеріалом, розташованим над цим шаром, за відсутності вільного простору для його переміщення [3].

Постановка задачі. Розглянемо схему руху зерна (рис. 1) за рахунок транспортуючих органів у донній частині бункера завдовжки L , в якому знаходиться зерно висотою H . Вісь x спрямована вздовж руху зерна, а вісь z перпендикулярно до осі x , як показано на рисунку 1. Для знаходження розподілу швидкостей уздовж осі x приймемо, що при $z = 0$ швидкість сипучого матеріалу за рахунок транспортуючих органів $v_x = 0$, а при $z = H$, де h – висота шару зерна, що рухається, визначається розміром щілини.

Виходячи зі складної внутрішньої сутності насипного матеріалу, окремі частинки якого є тілами, а вся маса має прагнення до течії (і за певних умов тече, даючи «витрату» сипучого матеріалу), для опису поведінки «поточного» сипучого матеріалу зручно уподібнити його деякою в'язкою рідиною середньою об'ємною щільністю ρ і коефіцієнтом в'язкості (внутрішнього тертя) η [4].

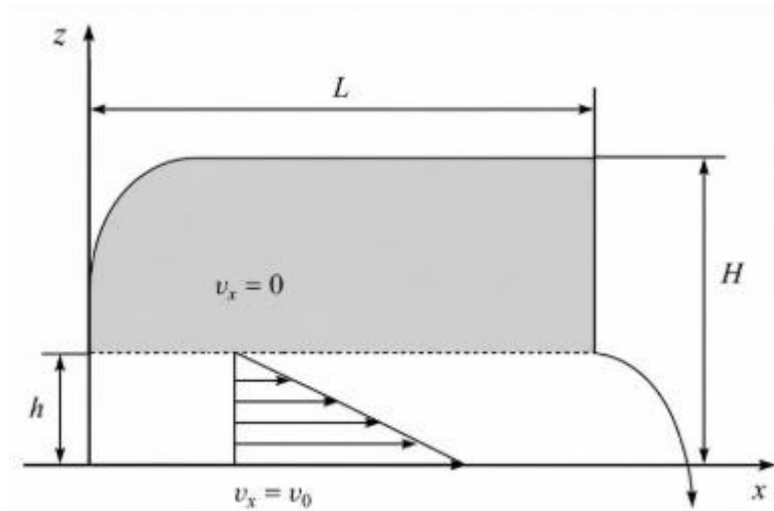


Рисунок 1 – Схема руху зерна у донній частині бункера

На підставі прийнятої гідромеханічної моделі динаміку сипучого тіла можна описати рівняннями, аналогічними рівнянням Нав'є-Стокса для в'язкої рідини:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = X - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + \nu \cdot \Delta v_x \\ \frac{dv_y}{dt} = Y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + \nu \cdot \Delta v_y, \\ \frac{dv_z}{dt} = Z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + \nu \cdot \Delta v_z \end{cases} \quad (1)$$

де v_x , v_y , v_z – проекції довільної точки сипучого середовища на відповідні осі координат; X , Y , Z – проекція масових сил; P – середня нормальна напруга (тиск) у точці, безпосередньо що не залежить від швидкостей деформацій; $\nu = \eta / \rho$ – кінематичний коефіцієнт в'язкості; Δ – диференціальний оператор Лапласа:

$$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}. \quad (2)$$

Оскільки «перебіг» сипучого продукту починається лише за наявності руху його щодо робочого органу, тобто за наявності відносної швидкості, то зручно записати рівняння руху щодо рухомих осей координат, пов'язаних з робочим органом, причому сили інерції переносного руху у цьому разі враховувалися як масові, аналогічно силам тяжкості. Тоді рівняння руху сипкого тіла, віднесені до рухомої системи відліку, видаються так:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = g_x - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial x} + v \cdot \Delta v_x - a_x \\ \frac{dv_y}{dt} = g_y - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial y} + v \cdot \Delta v_y - a_y, \\ \frac{dv_z}{dt} = g_z - \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} + v \cdot \Delta v_z - a_z \end{cases} \quad (3)$$

де g – прискорення сили тяжіння; a – прискорення переносного руху.

Швидкість v , звичайно, у цьому випадку буде відносною. З вирази (3) отримуємо диференціальні рівняння відносного руху сипучого продукту по щілини, при цьому деякими величинами, наприклад, g_x і g_y , зважаючи на їх дещо знехтуємо.

Вважаємо, що вісь X спрямована вздовж руху, а вісь Z , звичайно, буде перпендикулярна до неї.

Для наших режимів ці рівняння виражаються так:

$$\begin{cases} \frac{dv_x}{dt} = v \frac{d^2 v_x}{dz^2} \\ \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} = g \end{cases} \quad (4)$$

Ідеалізуючи даний процес, виділимо його особливості:

а) відносно змішування шарів сипучого продукту у процесі руху внаслідок наявності сил внутрішнього тертя (в'язкості);

б) відносний рух зернового матеріалу, що залежить від параметрів переносного руху гвинтової лінії пружини [3].

Перша особливість математично опишеться першим рівнянням системи (4), якщо в ньому знехтувати силами інерції переносного руху:

$$\frac{dv_x}{dt} = v \frac{d^2 v_x}{dz^2} \quad (5)$$

Вплив переносного руху (облік другої особливості) можна описувати, завданням такого граничного умови на транспортері, яке б враховувало фактори переносного руху [4].

Тому як перша гранична умова приймемо:

за $z = 0$; $v_x = v_0$ де v_0 – величина, пов'язана з кінематичними параметрами робочого органу, загалом є відомою. В якості другої граничної умову приймемо:

при $z = h$; $v_x = 0$.

в якості початкової умову приймемо:

при $t = 0$; $v_x = 0$ ($0 < z < h$).

Отже, рівняння (5) разом із граничним і початковою умовою є математична модель аналізованого процесу. Слід зазначити, що процес є невстановленим:

Тоді рішення рівняння (5) запишеться:

$$v_x(z,t) = v_0 \left[1 - \frac{z}{h} - \frac{2}{\pi} \sum_{k=1}^{\infty} \frac{1}{k} \cdot e^{-\frac{vk^2\pi^2}{h^2}t} \sin \frac{k\pi}{h} z \right]. \quad (6)$$

Обмежуючись двома членами цього ряду, отримаємо:

$$v_x(z,t) = v_0 \left[1 - \frac{z}{h} - \frac{2}{\pi} \sin \frac{\pi}{h} z \cdot e^{-\frac{v\pi^2}{h^2}t} \left(1 + e^{-\frac{3v\pi^2}{h^2}t} \cdot \cos \frac{\pi}{h} z \right) \right]. \quad (7)$$

Допускається, що при великих значеннях t (в межах до 5 секунд) режим переміщення сипучого матеріалу стає встановленим, і швидкість вздовж осі матиме вигляд (8):

$$v_x(z,t) = v_0 \left(1 - \frac{z}{h} \right). \quad (8)$$

Отримане рішення дозволяє пояснити експериментально встановлений факт, що з лінійного бункера спочатку вивантажується насипний матеріал, розташований у задній частині бункера, тоді як матеріал із передньої частини захоплюється та вивантажується в останню чергу. Отримана математична модель дозволяє оцінити характер розподілу швидкостей зернової маси у донній частині бункера та може бути використана під час обґрунтування параметрів транспортуючих робочих органів.

Список використаних джерел

1. Василенко П. М. Теорія руху частинок по шорстких поверхнях сільськогосподарських машин. Київ : УАСГН, 1960. 284 с.
2. Гевко І. Б. Гвинтові транспортуючі механізми: розрахунок і конструювання. Тернопіль : ТДТУ, 2008. 307 с.
3. Nedderman R. M. Statics and Kinematics of Granular Materials. Cambridge : Cambridge University Press, 1992. 364 p.
4. Погорілий Л. В., Брей В. В. Механізація процесів зберігання і переробки зерна. Київ : Аграрна освіта, 2014. 376 с.



Альпідовський В. В.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії
e-mail: vladyslav.alpidovskyi@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ХАРАКТЕР ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Робочі органи ґрунтообробних машин експлуатуються в умовах інтенсивного силового та абразивного впливу з боку ґрунтового середовища, яке є складною багатокомпонентною дисперсною системою з вираженою неоднорідністю властивостей. До складу ґрунту входять мінеральні частинки з високою твердістю, органічні включення, а також волога, що істотно змінює його реологічні та фізико-механічні характеристики. У процесі роботи такі елементи, як лемеші, лапи культиваторів, диски, ножі та інші деталі, перебувають у безперервному контакті з цим середовищем, зазнаючи дії сил тертя, ударних імпульсів і змінних навантажень, що зумовлює інтенсивне поверхневе руйнування матеріалу.

З інженерної точки зору процес зношування доцільно розглядати як енергетично зумовлений процес руйнування поверхневого шару, який супроводжується втратою маси, зміною геометрії та деградацією функціональних властивостей робочого органа. Зміна геометричних параметрів безпосередньо впливає на кінематику взаємодії «робочий орган – ґрунт» і призводить до зростання питомого тягового опору, збільшення енерговитрат та зниження якості агротехнічних операцій.

Домінуючим механізмом руйнування поверхні робочих органів є абразивне зношування. Воно реалізується внаслідок взаємодії твердих частинок ґрунту з металевою поверхнею, коли частинки з більшою твердістю (переважно кварцові включення з твердістю до 1000–1200 HV) діють як мікрорізальні елементи. У цьому випадку відбувається мікрорізання, мікропластичне деформування та виривання частинок матеріалу. На поверхні формуються характерні борозни, подряпини та мікрократери, орієнтовані за напрямком відносного руху.

У реальних умовах експлуатації ґрунтообробних машин ці механізми діють одночасно, що суттєво ускладнює прогнозування інтенсивності зношування та вимагає комплексного підходу до оцінювання ресурсу деталей.

Суттєвий вплив має також ударно-абразивне зношування, характерне для умов роботи на щільних, кам'янистих або неоднорідних ґрунтах. У цьому випадку до процесів мікрорізання додаються імпульсні навантаження, які викликають локальні пластичні деформації, зародження та розвиток мікротріщин, а також відколювання фрагментів матеріалу. Такий механізм особливо інтенсивно проявляється при підвищених швидкостях руху агрегату та великих глибинах обробітку, коли кінетична енергія взаємодії суттєво зростає.

У певних умовах експлуатації, зокрема при підвищеній вологості ґрунту, може проявлятися адгезійне зношування, пов'язане з локальним зчепленням

контактуючих поверхонь. При цьому відбувається перенесення матеріалу, його відрив і утворення нерівностей. Хоча цей механізм не є домінуючим, він може суттєво впливати на початкові стадії руйнування поверхні та формування контактної структури [1].

Інтенсивність зношування визначається комплексом факторів, які доцільно поділити на три групи:

1. Матеріалознавчі фактори: твердість і мікротвердість поверхневого шару; межа міцності та ударна в'язкість; мікроструктура; градієнт властивостей у приповерхневому шарі.

2. Експлуатаційні фактори: швидкість руху агрегату; глибина обробітку; питомий тиск на робочу поверхню; режим навантаження.

3. Властивості ґрунтового середовища: гранулометричний склад; вміст кварцових включень; вологість і щільність; наявність твердих включень.

Важливим інженерним аспектом є зміна геометрії робочих органів у процесі зношування. Збільшення радіуса заокруглення ріжучої кромки призводить до переходу від режиму різання до режиму зминання ґрунту, що супроводжується різким зростанням тягового опору (на 15–30 %) і витрат палива [2]. Це створює позитивний зворотний зв'язок, коли зростання навантажень прискорює подальше зношування.

З урахуванням наведеного, характер зношування робочих органів ґрунтообробних машин слід розглядати як багатофакторний процес, у якому домінує абразивний механізм, але значну роль відіграють ударно-абразивні та адгезійні явища. Інтенсивність руйнування визначається взаємодією властивостей матеріалу, умов навантаження та параметрів ґрунтового середовища.

Для підвищення довговічності робочих органів доцільно застосовувати інженерні підходи, спрямовані на керування структурою та властивостями поверхневого шару: термічне зміцнення, наплавлення, нанесення зносостійких покриттів, використання композиційних матеріалів із дисперсно зміцнюючими фазами. Перспективними є також комбіновані технології, що дозволяють формувати градієнтні структури з оптимальним поєднанням твердості, міцності та в'язкості.

Таким чином, інженерне забезпечення ресурсу робочих органів повинно базуватися на комплексному врахуванні механізмів зношування та цілеспрямованому формуванні експлуатаційно-орієнтованих властивостей матеріалу, що забезпечує підвищення ефективності та надійності роботи ґрунтообробних машин.

Список використаних джерел

1. Борак, К. В. (2022). Забезпечення рівностійкості зношування робочих органів ґрунтообробних машин. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*, (1). <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2022-1-19-30>

2. Malvajerdi A. S., Khadem M., Zolfaghari R., et al. Wear and coating of tillage tools: a review. *Heliyon*. 2023. Vol. 9, No. 6. Article e17081.

Арендаренко В.М.

канд. техн. наук, доцент, професор кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: volodymyr.arendarenko@pdau.edu.ua

Семенов А.О.

канд. фіз-мат. наук, доцент, професор кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: anatolii.semenov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

СУЧАСНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ МІКРОПОШКОДЖЕНЬ ЗЕРНА

Механічні пошкодження зернового матеріалу, який надходить на довготривале зберігання у силоси, суттєво впливають на його лежкість, польову схожість та майбутній врожай.

Механічні пошкодження зерна можна розділити на три основні групи: макротравмоване, макро ушкоджене (бите зерно) та мікротравмоване [1]. Між макротравмованим і мікротравмованим зерном існує суттєва відмінність і вона полягає в тому, що макротравми видно неозброєним оком. А от мікротравми неозброєним оком виявити неможливо.

Макротравми можна виявити візуальним оглядом або за допомогою лупи чи мікроскопу. На відміну від мікротравм мікротравми супроводжуються порушенням цілісності структури зернівок. Основні види мікротравм: бите зерно, травми зародка, давлене зерно, обдир оболонки. Макротравми сильно впливають на польову схожість (інколи до 44-47%), що робить таке зерно непридатним для посіву.

Мікротравми візуально виявити неможливо, але вони завдають великої шкоди. До них належать: внутрішні мікротріщини, вм'ятини, мікроскопічні розриви, внутрішні забої, пошкодження які виникають у момент відриву зернини від материнської рослини [2].

Мікротравми небезпечні тим, що посилюється дихання зерна, сприяючи самозігріванню та розвитку плісняви під час зберігання. Для їх виявлення використовуються сучасні методи. До них відносяться: комп'ютерний зір з використанням штучного інтелекту, гіперспектральний аналіз, рентгенографія та томографія і акустична емісія.

При виявленні мікротріщин за допомогою комп'ютерного зору використовують комбінацію спеціального освітлення, неруйнівного сканування та алгоритмів штучного інтелекту.

Гіперспектральний аналіз дає можливість виявити приховані внутрішні ушкодження та вогнища псування за спектральними характеристиками відбитого світла. В цьому методі камери фіксують відбите світло у сотнях вузьких діапазонів спектра (включно з інфрачервоним). Це дає можливість виявити зони з порушеною щільністю або хімічними змінами.

Рентгенографічний метод найефективніший. Він дає можливість за допомогою м'якого рентгенівського випромінювання отримати детальні внутрішні зміни структури зерна. За допомогою цього методу можна виявити навіть приховані мікротріщини, внутрішні пустоти та пошкодження шкідниками без пошкодження самого зародка. Сучасні системи (наприклад, на базі моделей YOLOv8) досягають точності понад 99% у розпізнаванні тріщин.

Наступним методом, за допомогою якого визначаються мікротравми зерна є акустична емісія. Даний метод заснований на реєстрації пружних хвиль (звукових імпульсів), котрі виникають у самому зерні під час його деформації або руйнуванні. Для утворення акустичної емісії використовуються лабораторні преси, спеціальні установки для стиснення з п'єзодатчиками або вібраційні стенди. Вібраційні стенди імітують транспортування зерна, а звукові хвилі які виникають під час ударів зерен об стінки або одне об одне потрапляють у п'єзоелектричний перетворювач. При цьому в приладі фіксується різне відлуння або зміну амплітуди та швидкості хвиль які пройшли через зерно. Наявність тріщин значно послаблює звуковий сигнал, що вказує на внутрішнє пошкодження зерна.

Список використаних джерел

1. Арендаренко, В.М., Семенов, А.О., Іванов, О.М. Інженерні основи безпечного завантаження зерна в силосні споруди. Монографія. Полтава, 2026. 240 с.
2. Кирпа, М.Я., Пашенко, Н.А., Базілева, Ю.С. Природа травмування насіння та методи його визначення. Селекція і насінництво: між. від. тем. науковий зб./УААН, Ін-т рослинництва ім. В.Я. Юр'єва. Харків. 2009. Вип.97. С.196-201.



Арендаренко В.М.

канд. техн. наук, доцент, професор кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: volodymyr.arendarenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ТРАВМУВАННЯ ЗЕРНА НА ЕЛЕВАТОРАХ

Відомо, що елеватор – це комплекс споруд призначених для зберігання та обробки зерна, що включає в себе різні механізми які необхідні для транспортування, очищення та сушіння зернового матеріалу. Зазвичай зерно на елеваторах зберігається у великих вертикальних конструкціях – силосах.

Процес функціонування металевих силосів включає в себе три взаємопов'язані операції: підняття зернової маси на певну висоту, транспортування зернового вантажу до завантажувального отвору силосу і завантаження силосів зерном [1]. На всіх цих етапах зерно контактуючи робочими органами транспортуючих машин може травмуватися. Крім того, сучасні силоси можуть досягати значних висот, а падаючий зерновий вантаж (особливо в початковий період завантаження) теж може травмуватись.

Основні причини пошкодження зерна при його завантаженні в силоси: механічні удари при його падінні на бетонне дно ємності, тертя та здавлювання яке виникає під час руху зернової маси (внутрішнє тертя між зернівками, та тертя об стінки транспортних галерей та стінок силосу), та робота транспортного обладнання.

На першому етапі зерно підіймається на певну висоту. Для цього на елеваторі використовують норії. Це замкнута стрічка з ковшами, яка безперервно піднімає зерно вгору.

Найбільш зерно травмується ковшовими елеваторами (норіями). Заповнення ковшів норії відбувається безперервно. Тому бій зерна здійснюється в результаті імпульсу, викликаного різницею векторів напрямків кінетичної енергії частинок зерна та норій них ковшів при їх зіткненнях. Якщо зерновий вантаж подається по ходу завантаження ковшів то ударні імпульси зменшуються на 20...30%, ніж при подачі матеріалу проти ходу ковша [1]. В такому випадку ударні імпульси повністю гасяться, і зерно в цій частині норії практично не травмується. Для зниження коефіцієнту бою необхідно синхронізувати траєкторію руху ковшів з траєкторією подач продукту.

Відомо, що близько 60% пошкоджень стається у верхній частині норії, а 40% - у нижній (башмаку). У верхній частині норій травмування зерна відбувається внаслідок його удару об відбійну плиту, тобто коли ковші викидають зерно на великій швидкості і воно в наслідок центробіжної сили ударяється об металевий кожух норії. У нижній частині зерно травмується при завантаженні ковша (ківш на великій швидкості б'є по зерновому вантажу), зерно може травмуватись об головки норій них болтів, якими ківш кріпиться до

стрічки, та внаслідок удару зерна об гостру передню стінку ковша під час зачерпування.

Якщо швидкість стрічки складає 2,3 м/с, тоді травмування зерна на окремих ділянках норії, у відсотках розподіляється наступним чином:

- удар зерна об кожух верхньої головки – 0,8%;
- удар зерна об тильний бік ковшів у холостій гільці – 1,1%;
- попадання зерна під барабан та стрічку в нижній головці – 0,4%;
- удар ковшів об зернову масу при їх завантаженні – 0,9%;
- зустріч зернового потоку з ковшами при їх завантаженні – 0,5%;
- удар зерна об стінку завантажувального бункера – 1,0%.

Великий вплив на травмування зерна впливає геометрія ковша. Вона впливає на зерно на трьох основних етапах: завантаженні, підйомі та розвантаженні. Ковші з гострою передньою кромкою травмують зерно переважно механічним шляхом у момент їхнього входу в зернову масу. При високій швидкості стрічки (від 2 до 3,5 м/с) [2] гостра металева кромка діє як лезо. При прямому зіткненні з зерном вона може розколоти зерно навпіл, або зрізати оболонку зернівок. Якщо гостра кромка ковша зазнає деформацію (наприклад, зазублини або вигини від ударів об камінці чи дно черевика), тоді створюється нерівномірний опір. Це призводить до подрібнення зерна, та збільшується відсоток «січки».

Горизонтальне переміщення зернового вантажу здійснюється за допомогою скребкових або стрічкових транспортерів. Перевага скребкових транспортерів очевидна, але вони мають і деякі недоліки. Основні технічні причини травмування зерна це висока швидкість ланцюга, тертя між скребками і коробом (зерно затискається в мінімальних зазорах між скребком і дном, що призводить до його роздавлювання), зворотне засипання, забивання в приводних зірочках, надмірне заповнення короба, сталіні скребки.

Більшість сучасних силосів завантажуються самопливним способом. Над кожним силосом у дні транспортера є спеціальний отвір із засувкою. Коли засувка відкривається, зерно під дією власної ваги падає вниз силосу. Внаслідок такого завантаження в нижній частині, особливо на першій стадії завантаження, утворюється шар травмованого зерна, що негативно впливає на весь процес зберігання зерна.

Щоб зерно не розліталось і менше травмувалось під час падіння з великої висоти, всередині циліндричної ємності необхідно встановлювати гасники швидкості, або розподільники котрі зменшують сегрегацію та травмування зерна.

Список використаних джерел

1. Самойленко, Т.В., Арендаренко, В.М., Мельник, В.І. Теоретичне моделювання процесу гравітаційного завантаження силосу зерном по відкритому гравітаційному каналі. // Інженерія природокористування, 2019, №2 (12), с.73 – 78

2. Гапонюк, О.И., Джулинский, Д.П. Сохранение качества зерна – задача №1 для современного элеватора. / Хранение и переработка зерна. – Днепропетровск: АПК – Зерно, 2013. - №10. – С. 23 – 25

Солодовник А. М.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: anatolii.solodovnyk@st.pdau.edu.ua

Канівець О.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: oleksandr.kanivets@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

АНАЛІЗ СПОСОБІВ І ЗАСОБІВ ПІСЛЯЗБИРАЛЬНОЇ ОБРОБКИ КАЧАНІВ НАСІННЕВОЇ КУКУРУДЗИ

Виробництво насінневої кукурудзи є технологічно складним процесом, що охоплює збирання, очищення та обробку качанів у суворо регламентовані агротехнічні строки. Якість насінневого матеріалу безпосередньо залежить від досконалості застосовуваних машин і технологічних ліній на етапі післязбиральної обробки. Механічне пошкодження зернівок під час обробки качанів знижує схожість і посівні якості насіння, що обумовлює необхідність систематизації та критичного аналізу існуючих технічних рішень [1].

Сучасна технологія «поле–завод» передбачає збирання врожаю кукурудзозбиральними комбайнами з одночасним очищенням качанів у полі та доочищенням на потокових лініях підприємства. Агротехнічні вимоги до якості збирання наступні: повнота збору качанів – не менше 98,5%, ступінь очищення від обгортки – не менше 95%, вилущування зерна – не більше 2%, пошкодження зернівок – не більше 1% [2].

Аналіз діючих технологічних ліній показує про суттєве різноманіття конструктивних підходів. Сербська лінія «METALAC 2» включає очисники-луцильники продуктивністю 5,5–7,5 т/год із кількістю робочих місць для сортування від 3 до 5 [3]. Для невеликих обсягів виробництва первинного насінництва та ранніх етапів селекції застосовують машини типу Tonga (Bourgoin, Франція) з трьома парами валків і чотирма рядами притискних барабанів, а також китайські очищувачі Zhengzhou Shuli з продуктивністю 1000–3000 кг/год [4]. Ці рішення забезпечують якісні параметри очищення, але не передбачають автоматичного контролю якості.

Окремий напрям у сучасному насінництві є фотосепарація та лазерне сортування. Системи ZEA TOMRA Sorting здійснюють відбраковування качанів за кольором, розміром та наявністю поверхневих дефектів за допомогою сенсорної сепарації «у польоті» при швидкості подачі 5 м/с і тиску наддуву до 5 атм. Продуктивність систем серій 32, 48 і 64 становить відповідно 1500, 2250 і 3000 шт./хв [5]. Як показує аналіз, такі режими роботи спричиняють ударні навантаження на качани, що призводить до вибивання зернівок і часткового пошкодження самих качанів. Системи ZEA не адаптовані до поштучної орієнтованої подачі та переробки малих партій.

Підвищені вимоги до якості розділення насінневих качанів унеможливають пряме перенесення серійних сортувальних машин з інших галузей, зокрема пневмосепараторів зернового потоку чи розмірних сортувальників картоплі. Специфічна структура качана складається з обертово-повітряного та зернового шарів, що виключає класифікацію за масою та рівномірним габаритним розміром [6]. Проведений аналіз дозволяє виокремити два перспективні напрями проектування сепараторів: перший базується на відмінностях у властивостях прилипання оболонок і зернівок до різних поверхонь; другий – на світловідбивних властивостях листків обгортки та поверхні зернівки. Прогрес в галузі CCD- та CMOS-камер, інфрачервоних сенсорів і комп'ютерного зору однозначно визначає другий напрям як пріоритетний для розробки нових поколінь сепараційних пристроїв.

Аналіз існуючих способів і засобів післязбиральної обробки качанів насінневої кукурудзи показав: жодна з розглянутих серійних систем не задовольняє повного комплексу агротехнічних вимог без залучення ручної праці або без ризику механічного пошкодження насінневого матеріалу; найперспективнішим напрямом є розробка сепараційних пристроїв на основі світловідбивних і оптичних характеристик структурних елементів качана.

Список використаних джерел

1. Gu R., Li L., Liang X. Et al. The ideal harvest time for seeds of hybrid maize (*Zea mays* L.) XY335 and ZD958 produced in multiple environments. *Scientific Reports*. 2017. Vol. 7. P. 17537. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-16071-4>
2. Khatamov B. A., Fozilov G. G. Harvesting technology of the corn in the form of husked cobs and machine for its operation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022. Vol. 1076. P. 012073. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1076/1/012073>
3. Wang K. R., Xie R. Z., Ming B. Et al. Review of combine harvester losses for maize and influencing factors. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2021. Vol. 14, No. 1. P. 1–10. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20211401.6034>
4. Dai F., Zhao Y. M., Liu Y. X. et al. Analysis and performance test on dynamic seed corn threshing and conveying process with variable diameter and spacing. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2023. Vol. 16, No. 2. P. 259–266. <https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20231602.7741>
5. Ma X., Li Y., Wan L. Et al. High-throughput maize seed ears sorting through structural re-parameterisation classification model and multi-channel sorting system. *Biosystems Engineering*. 2025. Vol. 254. P. 104155. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2025.104155>
6. Trubilin E. I., Truflyak E. V., Sidorenko S. M. Multilevel Systematic Approach to Optimization of Corn Grain Harvesting, Transportation, Post-Harvesting Processing and Storage. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2016. Vol. 7, No. 2. P. 1426–1437.

Гончаренко О. О.,
кандидат технічних наук, доцент
e-mail: oleksandr.honcharenko@pdau.edu.ua,

Яценко Ю. В.,
кандидат технічних наук, доцент
e-mail: yurii.v.yatsenko@pdau.edu.ua

Лавренко В. В.,
старший викладач
e-mail: volodymyr.lavrenko@pdau.edu.ua,
*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ТА ПРОЕКТУВАННЯ ВИРОБНИЧИХ ПРОЦЕСІВ НАДАННЯ ПОСЛУГ ІЗ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАТЕРІАЛЬНО- ТЕХНІЧНИМИ ЗАСОБАМИ ПІДПРИЄМСТВ ВСІХ ФОРМ ВЛАСНОСТІ

З показником 245 авто на 1000 жителів Україна посідає 71-ше місце у світовому рейтингу автомобілізації [1]. Поточний автопарк країни (10,5 млн авто) удвічі менший за потенціал Польщі (23 млн) та суттєво поступається лідеру – США (800 авто на 1000 осіб).

Сучасний етап розвитку автомобілебудування відзначається безперервним удосконаленням техніко-економічних параметрів транспортних засобів, що реалізується через ускладнення їхньої будови. Наслідком цього є розширення спектра конструктивних елементів та, як результат, збільшення асортименту необхідних запасних частин (ЗЧ). Основним механізмом стримування цього номенклатурного зростання є масштабна уніфікація деталей і вузлів.

Загалом обсяг потреби в автокомпонентах формується під впливом тривимірної системи чинників:

Експлуатаційні фактори: рівень потреби в ЗЧ безпосередньо залежить від інтенсивності використання техніки, професіоналізму водія, а також специфіки транспортних, дорожніх та природно-кліматичних умов. Зокрема, інтенсифікація експлуатації ТЗ у поєднанні з низькою кваліфікацією керівника та погіршенням стану дорожнього покриття чи кліматичними аномаліями детермінує стрімке зростання попиту на деталі.

Технологічні фактори: визначальний вплив на ресурс компонентів мають якість безпосереднього виконання технологічних операцій ТО і ремонту, а також вихідні фізико-механічні характеристики самих ЗЧ та пально-мастильних матеріалів.

Організаційні фактори: ефективність функціонування системи залежить від прогресивності й досконалості впроваджених технологій сервісу, ступеня проектно-розбудови та модернізації виробничо-технічної бази СТОА, професійної компетентності та рівня підготовки виробничого персоналу.

У теперішніх економічних умовах такий стан ринку вимагає від дистриб'юторів оптимізації систем постачання автозапчастин на автосервіси для швидкого та якісного обслуговування транспорту.

Конкуренцеспроможність автосервісних суб'єктів господарювання безпосередньо залежить від рівня якості надання послуг. Ознакою високої ефективності автосервісу є безперебійне забезпечення виробничого процесу необхідними запасними частинами (ЗЧ). З позиції споживача, критерієм наявності ЗЧ є виконання ремонтних робіт у прийнятні та заздалегідь узгоджені терміни. Складність організації логістичних процесів та управління складськими запасами ЗЧ обумовлена дією таких детермінант:

- мультибрендовість та диверсифікація автопарку. Одночасне обслуговування багатьох марок, моделей і модифікацій ТЗ (що є типовим для розвинених ринків автосервісу) призводить до формування надвеликої номенклатури ЗЧ, яка на окремих складах може перевищувати 120 тисяч найменувань;

- тривалий життєвий цикл та динаміка оновлення рухомого складу. Період від початку серійного випуску певної моделі до її остаточного виведення з експлуатації становить 20–35 років, що змушує утримувати запаси для застарілих машин на тлі постійної появи нових модифікацій від автовиробників;

- інформаційна асиметрія та невизначеність експлуатаційних чинників. Складність прогнозування попиту зумовлена браком надійних статистичних даних про зносостійкість вузлів ТЗ, а також варіативністю умов та інтенсивності їх використання власниками;

- складність дистриб'юторських мереж. Логістична система ускладнюється через велику кількість постачальників ЗЧ та наявність чисельних і розгалужених точок кінцевого споживання компонентів із різною інтенсивністю їх використання;

- нерівномірність попиту. Наявність чітко вираженої сезонної та ситуативної флуктуації (коливань) у потребах ринку щодо конкретних категорій запасних частин.

Отже, саме стохастичний (непередбачуваний) характер попиту на компоненти у поєднанні з багатофакторністю експлуатації ТЗ унеможливорює точне планування складських запасів за класичними методиками. Для подолання цієї дестабілізації система МТЗ, яка забезпечує підприємства автосервісу повним спектром матеріальних ресурсів – від вузлів і шин до пально-мастильних матеріалів, – потребує впровадження динамічних моделей управління. Лише оптимізована організація постачання здатна компенсувати коливання попиту, усунути простої техніки в ремонтній зоні та забезпечити безперебійність сервісних процесів.

Трансформація логістики з суто військової доктрини у цивільну дисципліну відбулася у 1960-х роках і була пов'язана з необхідністю забезпечення наскрізного управління матеріальними потоками. Тогочасний підхід трактував логістику як інструмент координації вантажоперевезень, акумулювання запасів,

фінішної обробки й пакування продукції з її подальшим складуванням та збутом. Завдяки цьому логістична наука набула вираженого економічного характеру.

Базовим синергетичним чинником розвитку національної логістичної системи є демонополізація ринкового середовища у поєднанні з інтенсифікацією науково-технічного прогресу на всіх етапах виробництва та обігу товарів. У межах цієї парадигми логістичний сервіс слід розглядати як цілісну, інтегровану підсистему взаємопов'язаних послуг, що реалізується безпосередньо у процесі руху та розподілу матеріальних потоків.

У сучасній теорії логістики виокремлюють два концептуальні підходи: операційно-функціональний (адміністрування фізичних процесів доставки від постачальника до споживача) та стратегічно-інтегрований (комплексний аналіз ринку, синхронізація попиту і пропозиції та гармонізація інтересів контрагентів). Другий підхід є пріоритетним, оскільки він безпосередньо формує довгострокові конкурентні переваги підприємства.

Функціонально логістична система диференціюється на три взаємопов'язані сфери:

Закупівельну (забезпечення виробництва вхідними матеріальними ресурсами);

Виробничу (управління потоками всередині підприємства);

Збутову (раціональний розподіл та реалізація готової продукції).

Наскрізним інтегратором цих сфер виступає інформаційне середовище, яке забезпечує безперервний збір, обробку, систематизацію та передачу даних про параметри проектування потокових процесів.

Отже основною метою збутової логістики є доставка товару (у разі запасних частин) у потрібне місце й у потрібний час, що досягається вибором відповідних каналів розподілу.

Список використаних джерел

1. Біліченко В. В., Антонюк О. П. Підвищення ефективності експлуатації рухомого складу АТП шляхом прогнозування потреби в запасних частинах. Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: V-а Міжн. наук.-практ. інтернет-конф., м. Вінниця, 13-14 квітня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 5 - 7.

2. Біліченко В.В., Антонюк О.П. Визначення впливу інтенсивності експлуатації рухомого складу АТП на потребу у запасних частинах. Сучасні технології та перспективи розвитку автомобільного транспорту: X-а Міжн. наук.-практ. конф., м. Вінниця, 23-25 жовтня 2017 р.: тези доповіді. Вінниця, 2017. С. 27 - 30.

3. Андрусенко С.І. Технології підвищення ефективності виробничо-технічної бази підприємств автомобільного транспорту: навчальний посібник./ С. І. Андрусенко, О. С. Бугайчук. – К. : Медінформ, 2017. –212 с.

4. М. В. РОГАНІН, О. О. ГОНЧАРЕНКО. Моделювання процесів зносу і відновлення твердосплавних сталей для прогнозування довговічності деталей. Том 1 № 3(94) (2025): Вісник Херсонського національного технічного університету. С. 236–244. DOI <https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2025.3.1.28>.

5. Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілів / С. Ю. Тищенко, А. А. Сергійчук, В. В. Аулін, А. В. Гриньків // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки : наук. зб. - Кропивницький : ЦНТУ, 2025. - Вип. 11(42). - Ч. 1. - С. 243-257. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/16380>.

6. Сучасний інструмент і машини для інтенсифікації слюсарно-ремонтних робіт: навч. посібник / І.М. Рибалко, О.В. Тіхонов, О.А. Науменко, І.В. Шепеленко, О.Д. Мартиненко, О.О. Гончаренко, С.В. Лисенко – Харків: "Діса плюс", 2024. – 214 с.

Бабич Я. В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Чумак М. В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ВПЛИВ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ НА ІНУВАННЯ СИСТЕМ ТОЧНОГО КОНТРОЛЮ ДОЗУВАННЯ AIRVAC НА ПОСІВНИХ АГРЕГАТАХ HORSCH

Забезпечення прецизійного висіву є одним із фундаментальних аспектів розвитку аграрного виробництва, який безпосередньо детермінує рівень реалізації генетичного потенціалу врожайності сільськогосподарських культур. У контексті окресленої проблематики доцільно проаналізувати інженерно-технологічні рішення провідних світових виробників посівної техніки, зокрема досвід компанії HORSCH.

Точний висів - це запорука високої та стабільної врожайності, яка забезпечується завдяки рівномірному розміщенню рослин у рядку. Одним із ключових елементів технологічного процесу вирощування культур є якісний висів насіння, від якого безпосередньо залежить рівномірність сходів, розвиток рослин та рівень урожайності. У зв'язку з цим особливого значення набуває використання сучасних систем контролю висіву на посівних агрегатах.

Одним із найбільш ефективних рішень у сфері точного висіву є використання посівних агрегатів типу AirVac, принцип роботи яких базується на вакуумній системі подачі насіння. Такі системи дозволяють забезпечити високу точність розміщення насіння у рядку, що безпосередньо впливає на рівномірність сходів та рівень урожайності сільськогосподарських культур [1].

Система AirVac функціонує за принципом створення вакууму у висівному апараті, завдяки чому насіння притискається до отворів висівного диска та транспортується до зони скидання. Після припинення дії вакууму насіння потрапляє у насінневу борозну [2].

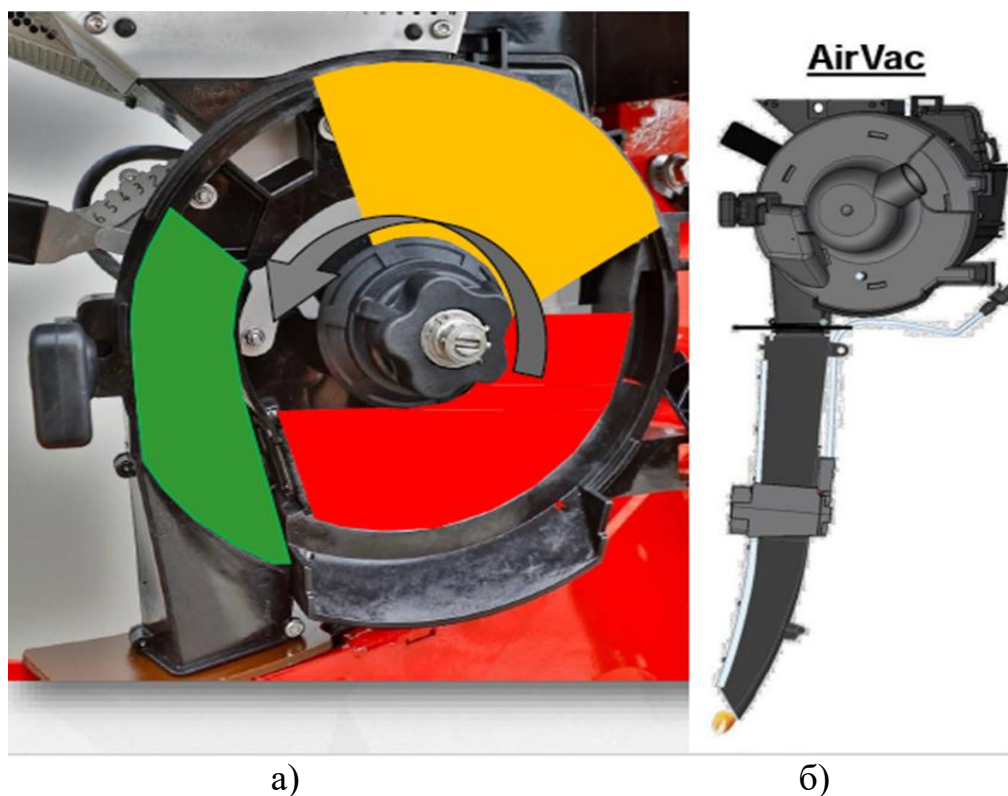


Рисунок 1. а) внутрішня будова та зони роботи вакуумного дозувального апарату AirVac; б) загальний вигляд висівної секції AirVac.

Така технологія забезпечує точне відокремлення насінин та мінімізує появу двійників і пропусків під час висіву. Розглянемо більш точно принцип роботи за кольоровими зонами на рисунку:

- жовта зона (зона наповнення та захоплення): тут насіння з приймальної камери під дією вакууму притягується до отворів дозувального диска;
- зелена зона (зона сингуляції / відсікання): у цій зоні спеціальний універсальний відсікач видаляє зайві насінини (двійники). Отвори диска залишаються заповненими строго по одній насініні. Цей відсікач не потребує механічних регулювань під різні культури;
- червона зона (зона скидання): тут дія вакууму переривається. Насініна відокремлюється від диска і під дією сили тяжіння вільно падає через оптимізовану висівну трубку прямо в посівну борозну.

Важливим елементом сучасних посівних агрегатів типу AirVac є електронні системи контролю висіву, які забезпечують моніторинг роботи кожного висівного апарата в режимі реального часу. Системи контролю оснащуються датчиками проходження насіння, електронними блоками управління та цифровими моніторами, що дозволяє оператору контролювати норму висіву, швидкість руху агрегату, рівномірність подачі насіння та виникнення технологічних відхилень. Наглядним прикладом є використання оптичних датчиків контролю насіння, які фіксують проходження кожної насініни через насіннепровід. У разі виникнення пропуску, забивання сошника або порушення роботи висівного апарата система автоматично подає сигнал оператору. Це дозволяє оперативно усувати несправності та запобігати втратам урожайності

через нерівномірний висів [3]. На сучасних сівалках типу AirVac також широко застосовуються системи автоматичного регулювання притискного зусилля сошників, інтегровані з GPS-навігацією та технологіями точного землеробства. Використання таких рішень забезпечує підтримання стабільної глибини висіву незалежно від щільності ґрунту та рельєфу поля. Наприклад, системи типу AutoForce або DeltaForce автоматично змінюють навантаження на сошникову групу залежно від польових умов, що дозволяє покращити контакт насіння з ґрунтом та забезпечити дружні сходи. [4].

Однією з переваг посівних агрегатів типу AirVac є можливість інтеграції з цифровими платформами моніторингу та управління технологічними процесами. Поєднання GPS-навігації, телеметрії та програмного забезпечення дозволяє формувати карти висіву, аналізувати продуктивність агрегатів та здійснювати диференційований висів насіння залежно від агрохімічних показників поля. Це сприяє оптимізації використання посівного матеріалу, зменшенню експлуатаційних витрат та підвищенню економічної ефективності виробництва. [4].

В умовах аграрного виробництва України використання сучасних систем контролю висіву на агрегатах типу AirVac є особливо актуальним через необхідність підвищення продуктивності сільськогосподарської техніки та ефективності використання ресурсів. Значна частина аграрних підприємств вже впроваджує технології точного висіву, що дозволяє підвищити якість польових робіт і забезпечити стабільні показники врожайності навіть за складних ґрунтово-кліматичних умов.

Разом із перевагами існують певні труднощі експлуатації сучасних систем контролю висіву, серед яких висока вартість обладнання, необхідність кваліфікованого сервісного обслуговування та залежність від стабільності електронних систем і навігаційного сигналу. Особливо актуальними ці проблеми є в умовах воєнного стану в Україні, коли можливі перебої GPS-сигналу та складнощі з технічним забезпеченням обладнання.

Отже, сучасні системи контролю висіву на посівних агрегатах типу AirVac є важливим елементом технологій точного землеробства та цифровізації аграрного виробництва. Комплексне поєднання вакуумних висівних систем, електронного моніторингу, автоматизованого керування та GPS-навігації забезпечує підвищення точності висіву, оптимізацію використання ресурсів і створює передумови для подальшого розвитку інноваційних технологій у агропромисловому комплексі України.

Список використаних джерел:

1. Мельник І. І. *Машини та обладнання для рослинництва : підручник*. Київ : Аграрна освіта, 2021. 432 с.
2. Сидоренко В. М. Сучасні системи точного висіву та їх ефективність у аграрному виробництві. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 3. С. 28–34.
3. Курсов С. В. Електронні системи контролю висіву на сучасних сівалках. *Вісник агроінженерії*. 2022. № 3. С. 41–48.
4. *Horsch Precision Seeding Technology and AutoForce Systems*. Horsch Maschinen GmbH. Schwandorf, 2023. URL: <https://www.horsch.com>

СЕКЦІЯ 3

Технічний сервіс, надійність і експлуатація машин та обладнання

Бурда Д.С.,
здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: danylo.burda@st.pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ТЕХНОЛОГІЧНЕ УДОСКОНАЛЕННЯ СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ НАСОСІВ

Сучасний розвиток агропромислового комплексу неможливий без ефективного функціонування насосного обладнання, яке широко використовується для транспортування рідин, забезпечення технологічних процесів та систем водопостачання [1]. Надійність і довговічність насосів значною мірою визначаються технічним станом їх основних елементів, а саме, валів, підшипників і ущільнень. У процесі експлуатації ці елементи працюють в умовах змінних навантажень, впливу корозійного середовища та тертя, що призводить до їх інтенсивного зношування.

Актуальність дослідження полягає у необхідності підвищення ефективності сервісного обслуговування та ремонту насосів впровадженням сучасних технологічних методів відновлення та зміцнення поверхневого шару деталей. Традиційні методи ремонту, як правило, пов'язані із заміною зношених елементів, що супроводжується значними матеріальними витратами та простоем обладнання. Тому перспективним напрямом є застосування технологій, що дозволяють відновлювати експлуатаційні властивості деталей без їх повної заміни.

Метою роботи є підвищення ефективності сервісного обслуговування насосів за рахунок технологічного удосконалення процесів відновлення та зміцнення їх основних деталей.

Аналіз конструкцій насосів показує, що одними з найбільш відповідальних елементів є вали, які забезпечують передачу крутного моменту та сприймають значні механічні навантаження. При цьому довгомірні вали насосів характеризуються недостатньою жорсткістю. Це ускладнює їх обробку та експлуатацію, викликаючи додаткові деформації і зниження точності роботи агрегатів. У процесі виготовлення та експлуатації в таких деталях формуються залишкові напруження. Вони можуть покращувати або погіршувати їх експлуатаційні характеристики.

Одним із ефективних напрямів підвищення ресурсу деталей насосів є застосування методів поверхневого пластичного деформування – алмазного накочування [2-3]. Даний метод формує у поверхневому шарі залишкові

напруження стиску, підвищує мікротвердість, зменшує шорсткість обробленої поверхні. У результаті цього значно зростає зносостійкість та втомна міцність деталей. Це є критично важливим для елементів насосного обладнання.

Проведені дослідження показали, що технологічні параметри процесу накочування (зусилля притискання, подача, швидкість обробки) мають суттєвий вплив на якість поверхневого шару. Зокрема, оптимальні режими обробки забезпечують досягнення потрібної шорсткості поверхні при виконанні двох проходів інструмента. Крім того, формуються значні стискаючі залишкові напруження. Вони сприяють підвищенню опору втомі та утворенню тріщин.

Важливим аспектом є впровадження процесів зміцнення безпосередньо під час ремонту. Використання алмазного накочування на завершальних стадіях обробки дозволяє не лише відновити геометричні параметри деталей, але й покращити їх фізико-механічні властивості. Це забезпечує підвищення жорсткості валів на 10...15% та збільшення ресурсу роботи насосного обладнання.

Окрім підвищення технічних характеристик, запропоновані технологічні рішення мають суттєвий економічний ефект. Застосування методів поверхневого пластичного деформування дозволяє знизити собівартість обробки деталей за рахунок скорочення часу обробки, зменшення витрат на інструмент та енергоресурси. Зокрема, встановлено зниження технологічної собівартості з 51,6 до 35,38 грн на одну деталь. Це свідчить про високу економічну доцільність впровадження таких процесів.

Не менш важливим є екологічний аспект сервісного обслуговування насосів. Традиційні методи обробки супроводжуються утворенням значної кількості відходів, зокрема стружки, використаних мастильно-охолоджувальних рідин. На відміну від них, процес алмазного накочування характеризується мінімальним утворенням відходів, низьким енергоспоживанням та зменшеним негативним впливом на довкілля. Використання замкнених систем подачі мастильно-охолоджувальних рідин, сучасних фільтраційних установок додатково підвищує екологічну безпеку виробництва.

Таким чином, технологічне удосконалення сервісного обслуговування насосів шляхом впровадження методів поверхневого пластичного деформування дозволяє комплексно вирішити завдання підвищення надійності, довговічності та економічної ефективності експлуатації насосного обладнання. Отримані результати можуть бути використані при розробці сучасних технологічних процесів ремонту і відновлення деталей машин агропромислового комплексу.

Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні застосування комбінованих методів зміцнення, зокрема поєднання алмазного накочування з ультразвуковими технологіями, а також у вдосконаленні діагностичних методів оцінки стану поверхневого шару деталей після обробки.

Список використаних джерел

1. Popov S., Vasilyev A., Rymar S. The designing of crank mechanism of piston pump. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2013. №1/7 (61). P. 30–32.
2. Дахнюк О. П., Заблоцький В. Ю., Приступа С. О. Оцінка ефективності операцій механічного оброблення. Технологічні комплекси. 2014. № 1 (9). С. 127–131.
3. Веселовська Н. Р., Турич В. В., Руткевич В. С. Контактна взаємодія інструмента з деталлю у процесах поверхневого пластичного деформування з ультразвуком. Вібрації в техніці та технологіях. 2017. № 2 (85). С. 51–58.

Нос В. Т.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: vasy1.nos@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНОЇ ЯКОСТІ ДЕТАЛЕЙ ОБЛАДНАННЯ ЗЕРНОСУШИЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ

Сучасні зерносушильні комплекси функціонують за складних умов. До них відносять: підвищені температури; абразивне зношування; вібрації; змінні навантаження. Усе це призводить до інтенсивного руйнування робочих поверхонь деталей. Найбільш вразливі елементи: лопаті; корпусні деталі; вали та інші вузли, що безпосередньо контактують із зерновою масою, гарячими потоками повітря. Тому підвищення експлуатаційної якості таких деталей є актуальним завданням сучасного машинобудування [1].

Аналіз наукових досліджень засвідчив, що ключовим фактором, який визначає довговічність деталей, є якість поверхневого шару, залишкові напруження, зносостійкість. Поверхневий шар є зоною зародження втомних тріщин. Збільшення шорсткості призводить до зниження міцності, ресурсу деталей. Методи обробки, що забезпечують формування високоякісної поверхні, відіграють суттєву роль у підвищенні експлуатаційних характеристик обладнання [2, 3].

Чистове кінцеве фрезерування є одним із ефективних способів забезпечення необхідної якості поверхні. Цей процес дозволяє отримувати складні геометричні форми з високою точністю, низькою шорсткістю. Але ефективність фрезерування суттєво залежить від характеристик різального інструменту, зокрема його матеріалу, геометрії, наявності зносостійких покриттів. Застосування твердосплавних кінцевих фрез із сучасними покриттями (типу TiN, TiAlN, AlCrN тощо) дозволяє суттєво знизити коефіцієнт тертя в зоні різання, зменшити температуру процесу та підвищити стійкість інструменту в 2...4 рази. Це позитивно впливає на якість обробленої поверхні. Зменшує інтенсивність зношування, забезпечує стабільність технологічного процесу [4-10].

Особливу увагу слід приділити фізико-механічним аспектам взаємодії

інструменту та оброблюваного матеріалу. Підвищення твердості поверхні інструменту та зниження адгезійної взаємодії з матеріалом деталі є основними умовами підвищення зносостійкості. Це досягається застосуванням багат шарових або наноструктурованих покриттів. Вони формують сприятливі напруження стиску, перешкоджають розвитку мікротріщин. Важливим є вибір оптимальних режимів різання. Швидкість різання, подача на зуб, глибина різання визначають не лише продуктивність процесу, але й параметри шорсткості поверхні. При чистовому фрезеруванні доцільно використовувати супутню обробку. Вона забезпечує більш стабільний процес формування поверхні та зменшує теплове навантаження на інструмент.

Експериментальні дослідження підтверджують, що застосування інструменту із зносостійкими покриттями дозволяє знизити сили різання на 10...25%, а температуру в зоні обробки – до 50°C, підвищити продуктивність на 10...18%. При цьому спостерігається покращення параметрів шорсткості поверхні. Це безпосередньо впливає на підвищення експлуатаційної надійності деталей.

Практична реалізація запропонованих підходів у виробництві деталей зерносушильного обладнання дозволяє зменшити потребу в додаткових доводочних операціях. Скоротяться витрати на ремонт та обслуговування. Підвищиться енергоефективність роботи комплексу в цілому. Крім того, використання сучасних покриттів сприяє зменшенню потреби у змащувально-охолоджувальних рідинах. Це має позитивний екологічний ефект.

Отже, підвищення експлуатаційної якості деталей обладнання зерносушильного комплексу досягається за рахунок комплексного підходу. Він включає у себе оптимізацію процесу кінцевого фрезерування, застосування сучасного інструменту із зносостійкими покриттями, а також раціональний вибір режимів обробки. Реалізація цього забезпечить підвищення довговічності деталей, надійності обладнання, ефективності виробництва в цілому.

Список використаних джерел

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.
2. Levchenko Yu., Priliepo N., Popov S., Petrash O. Advanced Technologies in Mechanical Engineering: Textbook. Poltava: Astraya, 2026. 176 p.
3. Коробко Б.О., Фролов Є.А., Попов С.В., Ясько С.Г. Прогресивні технології у машинобудуванні. Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2020. 168 с.
4. Мазур М. П., Внуков Ю. М., Грабченко А. І. Основи теорії різання матеріалів: підручник. Львів: Новий Світ–2000, 2022. 471 с.
5. Antoniadis, A., Savakis, C., Bilalis, N. Prediction of Surface Topomorphy and Roughness in Ball–End Milling. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 2003. № 21. P. 965–971.

6. Liu, Z.Q., Zhang, X., Wang, Z.T., Wan, Y. Wear Patterns and Mechanisms of Cutting Tools in High-Speed Face Milling. J. Mater. Process. Technol. 2002. Vol. 129. С. 222–226.
7. Petrakov, Y. V., Myhovych, A. V. Machining technology analysis for contour milling. Mechanics and Advanced Technologies. № 2(89), 2020. P. 114–120.
8. Petrakov, Y., Korenkov, V., Myhovych, A. Technology for programming contour milling on a CNC machine. Eastern European Journal of Enterprise Technologies. 2022. 2 (1(116)). P. 55–61.
9. Taylan, F., Çolak, O., Kayacan, M. C. Investigation of TiN Coated CBN and CBN Cutting Tool Performance in Hard Milling Application. Journal of Mechanical Engineering. 2011. Vol. 57, Issue 5. P. 417–424.
10. Vnukov, Y. N., Germashev, A. I., Kamorkin, P. A., Kozlova, E. B. Efficiency and surface condition assessment of thin wall end milling. Technologies of Information in Education, Science and Production. 2014. № 2(7). С. 97–108.

Бодник А. О.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: andrii.bodnyk@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПІДШИПНИКОВИХ ВУЗЛІВ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ СУПЕРФІНІШУВАННЯМ

Підшипникові вузли сільськогосподарської техніки працюють за умов підвищених динамічних навантажень, запиленості, вібрацій нестабільного змащування, що суттєво знижує їх ресурс і надійність [1]. Одним із визначальних факторів довговічності підшипників кочення є якість поверхневого шару доріжок кочення. Вона впливає на умови контакту тіл кочення, формування мастильної плівки та інтенсивність зношування. У зв'язку з цим актуальним є вдосконалення технологій остаточної обробки, які спрямовані на підвищення експлуатаційних характеристик підшипникових вузлів [2, 3].

Традиційні методи механічної обробки не забезпечують у повній мірі необхідні параметри мікрогеометрії поверхні [4-6]. Основними недоліками є підвищена шорсткість, хвилястість та наявність дефектів поверхневого шару. Вони виступають концентраторами напружень, ініціаторами втомного руйнування. У цьому контексті особливого значення набуває процес суперфінішування. Він дозволяє досягти високої точності, якості поверхні.

Суперфінішування є високоефективним методом остаточної обробки [7]. Базується на поєднанні мікрорізання та пластичної деформації поверхневого шару за допомогою абразивних брусків. У результаті обробки значно зменшуються параметри шорсткості, формується сприятлива мікрогеометрія поверхні з рівномірним розподілом мікронерівностей. Це сприяє покращенню трибологічних характеристик. Забезпечує зниження коефіцієнта тертя та

зменшення тепловиділення, підвищення стійкості плівки змащення.

Особливу увагу в наукових роботах приділено вдосконаленню процесу суперфінішування [8-10]. Розглянуто різні його модифікації, а саме, ультразвукове суперфінішування, обробка із коловою та гвинтовою осциляцією бруска, двохбрускове, багатобрускове суперфінішування. Визначено, що введення додаткових рухів абразивного інструменту дозволяє підвищити рівномірність обробки, а також зменшити локальні перевантаження, забезпечити стабільність процесу.

Експериментальні дослідження показали, що основними факторами впливу на якість поверхні при суперфінішуванні є: тип і зернистість абразивного інструменту; тиск бруска на оброблювану поверхню; швидкість обертання деталі; тривалість обробки. Зі збільшенням часу обробки та оптимальним підбором параметрів інструменту досягається суттєве зниження шорсткості поверхні. Це безпосередньо впливає на підвищення ресурсу підшипника.

Застосування вдосконалених схем суперфінішування дозволяє сформувати поверхневий шар із підвищеною зносостійкістю та сприятливими залишковими напруженнями стиску. Це сприятиме підвищенню контактної витривалості, зменшенню ймовірності виникнення втомних тріщин у доріжках кочення.

Практична реалізація запропонованих технологічних рішень під час виробництва та ремонту підшипникових вузлів сільськогосподарської техніки дозволяє значно підвищити їх надійність, зменшити витрати на обслуговування, збільшити міжремонтні інтервали. Окрім цього, удосконалення процесу суперфінішування сприяє підвищенню енергоефективності роботи техніки за рахунок зменшення втрат на тертя.

Отже, підвищення надійності підшипникових вузлів досягається за рахунок комплексного підходу. Він включає оптимізацію параметрів суперфінішування, використання сучасних абразивних інструментів, впровадження інноваційних технологічних схем обробки. Це забезпечує формування високоякісного поверхневого шару, суттєве покращення експлуатаційних характеристик сільськогосподарської техніки.

Список використаних джерел

1. Попов С.В., Васильєв А.В., Леднік Р.А. Теоретичне дослідження зносу конічного підшипника ковзання. Технологічний аудит та резерви виробництва. 2015. №2 (22). С. 60–64.

2. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.

3. Зінов'єв Г.С., Попов С.В., Бойко С.А. Підшипник ковзання, здатний до самоочищення. Східно-європейський журнал передових технологій. 2011. №5/1 (53). – С. 68–70.

4. Роїк Т. А., Гавриш О. А., Майстренко Ю. Ю., Ямрозьк К., Курзава А. Вплив алмазного суперфінішування на шорсткість поверхні антифрикційних

композитних деталей з відходів силумінів для пост-друкарського устаткування. Технологія і техніка друкарства. 2024. 2(84). С. 74-85.

5. Фесенко А. В., Авсюкова Т. М., Сліщенко С. А., Линник І. І. Підвищення ефективності фінішної механічної обробки. Вісник НТУ «ХПІ». 2022. № 1(5). С. 33-43.

6. Клименко С. А. Науково-технічні проблеми механічної обробки інструментами з надтвердих матеріалів: стан і перспективи. Вісник НАН України. 2018. № 9. С. 45-52.

7. Мазур М. П. Основи теорії різання матеріалів: монографія. Львів: Новий Світ, 2000, 2020. 471 с.

8. Кудратов М. М., Віштак І. В. Аналіз сучасних методів шліфування для підвищення точності та якості поверхонь газових підшипників. *НаукПраці ВНТУ*. 2024. № 4. С. 1-8.

9. Hui Deng, Zhou Xu. Dressing methods of superabrasive grinding wheels: A review. *Journal of Manufacturing Processes*. September 2019. Volume 45. pp. 46-69

10. Nengru T., Chen Genyu, Liu Zhuoming, Luo Fengrong, Wei Yi, Zhou Wei. Laser dressing of fine-grained metal-bonded diamond grinding wheels with concave surface. *Optics & Laser Technology*. 2024. Volume 175. pp. 1-14.

Бородатий Д. Г.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: danylo.borodaty@st.pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОПТИМІЗАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ШЛІФУВАННЯ

Сучасні умови розвитку машинобудування, технічного сервісу агропромислового комплексу висувають підвищені вимоги до якості відновлення, а також обробки деталей. Шліфування є одним із ключових завершальних етапів обробки. Воно забезпечує необхідну точність геометричних параметрів, зниження шорсткості поверхні, підвищення експлуатаційної надійності вузлів тертя. Актуальним є завдання шліфування. Це створить передумови для підвищення продуктивності, зниження собівартості, покращення якості обробки [1-3].

Аналіз існуючих досліджень засвідчив, що ефективність процесу шліфування визначається значною кількістю взаємопов'язаних факторів. Серед основних: режими різання; характеристики абразивного інструменту; фізико-механічні властивості оброблюваного матеріалу; умови тертя, теплообміну в зоні різання. Зазвичай для вивчення цих процесів застосовували емпіричні залежності. Сучасні ж підходи базуються на комплексному моделюванні. Воно враховує фізичну природу явищ у зоні контакту абразивного зерна з поверхнею заготовки [4, 5].

Одним із визначальних факторів процесу шліфування є коефіцієнт тертя між абразивним зерном та оброблюваною поверхнею. Він має молекулярно-механічну природу. Суттєво впливає на процеси деформації, утворення стружки,

а також виділення теплоти. Під час підвищення швидкості різання спостерігається зниження коефіцієнта тертя. Це призводить до зменшення мінімальної товщини зрізу, збільшення числа ефективно працюючих зерен. Це призводить до підвищення продуктивності процесу [6-9].

Зернистість шліфувального круга є іншим важливим параметром. Дослідженнями встановлено нелінійну залежність між зернистістю та інтенсивністю зняття металу. Максимальна продуктивність досягається при використанні кругів із оптимальною середньою зернистістю. Це забезпечує найкраще співвідношення між глибиною різання окремих зерен, площею контакту. При надто дрібній або надто великій зернистості ефективність процесу зменшується. Це пояснюється збільшенням частки пластичних деформацій чи недостатньою кількістю активних ріжучих кромки. Геометрія абразивних зерен, їх розташування в зв'язці, стан робочої поверхні круга мають суттєвий вплив на шліфування. Засалювання інструменту, викликане налипанням частинок оброблюваного матеріалу, призводить до зниження ріжучої здатності, а також погіршення якості поверхні, збільшення витрат на правку. Встановлено, що витрати на правку можуть становити до 70% собівартості операції. Це підкреслює необхідність оптимізації режимів обробки та підвищення стійкості інструменту.

Пропонується алгоритм оптимізації процесу шліфування. Він передбачає: визначення коефіцієнта тертя та усадки стружки для певних умов обробки; розрахунок продуктивності на основі математичної моделі; вибір оптимальної зернистості, глибини різання, числа проходів; встановлення раціональної поздовжньої подачі з урахуванням вимог до шорсткості. Такий підхід дозволяє здійснювати багатокритеріальну оптимізацію процесу з урахуванням як технологічних, так і економічних показників.

Дослідження плоского шліфування конструкційних сталей засвідчили ефективність запропонованих рішень. Встановлено залежності коефіцієнта тертя від швидкості різання, фізико-механічних властивостей матеріалу. Уточнено модель визначення об'єму знятого металу, визначено оптимальні режими обробки. При цьому забезпечується підвищення продуктивності, а також зниження зносу інструменту, покращення параметрів якості поверхні.

Отже, оптимізація процесу шліфування повинна базуватися на комплексному врахуванні фізичних процесів у зоні різання, раціональному виборі параметрів режиму, характеристик інструменту. Практичне впровадження отриманих результатів дозволить підвищити ефективність технічного сервісу, знизити витрати виробництва та забезпечити високу якість відновлення деталей машин.

Список використаних джерел

1. Попов С. В., Северин Т. О. Дослідження гідродинамічних явищ плоского шліфування периферією круга. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2013. № 38 (1011). С. 21–25.

2. Васильєв А. В., Попов С. В., Костенко О. С. Підвищення ефективності стрічкового шліфування. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХПІ», 2014. № 7 (1050). С. 29–34.
3. Попов С. В. Визначення оптимальних режимів шліфування різального інструменту методом планування експерименту. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. №3(94). Ч.1. С. 213-219.
4. Ковальчук В. М. Основні методи шліфування газових підшипників. *Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут"*. 2021. No 12(2). С. 45–52.
5. Петренко І. С. Дослідження методів шліфування газових підшипників. *Науковий журнал «Машинобудування та транспорт»*. 2024. № 8(1). С. 28–34.
6. Lee J., Park H., Kim Y. Adaptive Control in Grinding Processes: Real-Time Feedback for Precision Surface Finishing. *Journal of Precision Manufacturing*. 2024. No 89. P. 203–216.
7. Zhou H., Li Q., Zhang X. High-Precision Diamond Grinding Wheels for Surface Finishing in High-Speed Bearings. *Journal of Manufacturing Processes*. 2021. No 64. P. 231–245.
8. Wang Z., Yang S., Xu L. Ultrasonic Vibration-Assisted Grinding for Hard Materials: Enhancing Surface Finish and Material Integrity. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2023. No 134. P. 325–338.
9. Liang R., Cheng M., Huang T. Abrasive Jet Machining for Enhanced Surface Integrity in Precision Components. *Precision Engineering*. 2022. No 73. P. 101–112.

Бромот К. С.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: kyrylo.bromot@st.pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет,

м. Полтава, Україна

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ЗБІРНИХ РОЗГОРТОК

Сучасне машинобудування, а також агропромисловий сектор, висувають підвищені вимоги до точності, надійності, довговічності деталей машин. Значна частина таких деталей містить точні отвори. Вони визначають якість з'єднань, ресурс вузлів, стабільність роботи механізмів. У технологічному процесі виготовлення, а також відновлення деталей особливе місце посідає операція розгортання [1, 2]. Це завершальний етап обробки отворів.

Аналіз технологічних процесів засвідчив, що розгортання є одним із найбільш поширених методів досягнення високої точності (6-7 квалітети), а також шорсткості поверхні [3]. Водночас дана операція характеризується низкою специфічних особливостей. До них відносять: малі товщини зрізу; підвищену чутливість до похибок установки інструмента; значний вплив геометрії ріжучої частини на якість обробки. Усе це зумовлює необхідність удосконалення

конструкцій розгорток для підвищення ефективності процесу [4].

Традиційні суцільні розгортки мають обмежені можливості стосовно забезпечення стабільності обробки. Особливо це стосується умов ремонтного виробництва. Основні недоліки таких інструментів: недостатня вібростійкість; складність відновлення геометрії; обмежена адаптивність до змінних умов обробки. Актуальним напрямом є застосування збірних конструкцій розгорток, а саме, різцевих збірних розгорток із безвершинними зубами.

Проведений аналіз засвідчив – особливості збірних розгорток забезпечують низку суттєвих переваг. Використання змінних різців дозволяє підвищити економічну ефективність інструменту внаслідок багаторазового використання корпусу, а також заміни лише зношених елементів. Також підвищується жорсткість інструменту, зменшується вплив динамічних навантажень [5, 6].

Особливий інтерес становлять розгортки, що мають безвершинні зубці. Відсутність вершини ріжучої кромки усуває найбільш вразливу ділянку інструменту. Саме вона зазнає інтенсивного зносу. Така геометрія забезпечує більш сприятливі умови різання, а також зменшення сил тертя, покращення процесу стружкоутворення. Завдяки коловій формі ріжучої кромки підвищується ефект самоцентрування інструменту.

Експериментальні дослідження доводять, що використання збірних конструкцій розгорток із безвершинними зубами дозволяє покращити показники якості обробки. Спостерігається зменшення відхилень від круглості, циліндричності отворів. Зниження числове значення шорсткості поверхні. Це пояснюється наступним – кожен наступний зуб виконує не лише різання. Він додатково здійснює калібрування поверхні.

Важливим фактором є збільшення кількості ріжучих елементів, їх раціональне розташування. Використання здвоєних безвершинних зубів дозволяє реалізувати багатоступеневу обробку. Це відбувається в межах одного інструменту. Перші зуби знімають основний припуск. Наступні – виконують функцію чистового калібрування. Це забезпечує підвищення точності розмірів, форми отвору.

Конструкції збірних розгорток передбачають можливість регулювання діаметра обробки. Це є особливо важливим для ремонтного виробництва. З'являється можливість компенсувати знос інструменту, забезпечувати стабільність технологічного процесу. Необхідність частого виготовлення нового інструменту відпадає.

З точки зору експлуатаційних характеристик, застосування збірних розгорток сприяє підвищенню стійкості інструменту. Знижуються вібрації у системі «верстат – пристосування – інструмент – деталь», покращуються умови роботи. Усе це позитивно впливає на точність обробки, довговічність інструменту, а також деталей, що зазнають обробки.

Економічна ефективність використання збірних розгорток визначається зменшенням витрат на інструментальне забезпечення, підвищенням продуктивності обробки, а також зменшенням браку. Додатково слід відзначити зменшення витрат часу на налагодження, обслуговування інструменту.

Отже, результати аналізу та досліджень підтверджують наступне.

Застосування збірних розгорток, особливо з безвершинними зубами, є ефективним напрямом підвищення якості, продуктивності обробки точних отворів. Їх використання дозволяє забезпечити високі показники точності. Зменшується числове значення шорсткості поверхні. Підвищується стійкість інструменту. Досягається суттєвий економічний ефект.

Перспективи подальших досліджень полягають в оптимізації геометричних параметрів ріжучих елементів, а також удосконаленні конструкцій кріплення різців, впровадженні нових інструментальних матеріалів і покриттів. Це дозволить іще більше підвищити ефективність процесу розгортання.

Список використаних джерел

1. Канівець О. В., Попов С. В. Перспективи удосконалення роботи механо-складальних дільниць та забезпечення їх різальним інструментом у воєнний час. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2025. №3(94). Ч.1. С.123-128.
2. Попов С. В. Лінійна оптимізація технологічних параметрів розгортання отвору втулки зубчастого редуктора. *Вісник Приазовського Державного Технічного Університету. Серія: Технічні науки*. 2025. Вип. 51. С. 65-71.
3. Данилова Л.М., Лапковський С.В., Приходько В.П. Різальний інструмент: навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 147 с.
4. Швець С.В. Металорізальні інструменти: навчальний посібник. Суми: СумДУ, 2019. 272 с.
5. Jiang Z., Liu J., Wang D., та ін. Optimization of reaming process parameters for alloy grey cast iron HT250 using grey relational analysis. *Key Engineering Materials*. 2020. Vol. 866. P. 32–40.
6. [Stephenson](#) D.A., [Agapiou](#) J.S. Metal Cutting Theory and Practice. Florida: CRC Press, 2019. 947 p.

Гарькавенко В. Г.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

e-mail: viktor.harkavenko@st.pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет,

м. Полтава, Україна

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН ПРОГНОЗУВАННЯМ ТА КОНТРОЛЕМ ХВИЛЯСТОСТІ

Сучасний розвиток агропромислового виробництва характеризується високими вимогами до сільськогосподарської техніки, а саме, надійності, довговічності, ефективності використання. Умови експлуатації таких машин пов'язані з підвищеними динамічними навантаженнями, абразивним зношуванням і змінними режимами роботи. Усе це зумовлює необхідність забезпечення високої якості поверхонь деталей. Одним із ключових факторів є хвилястість поверхні.

Вона формується під час механічної обробки. Суттєво впливає на контактні, триботехнічні, а також характеристики міцності [1, 2].

Аналіз сучасних досліджень засвідчив, що якість поверхневого шару деталі є комплексною характеристикою. Вона містить макровідхилення, хвилястість, шорсткість, фізико-хімічні властивості. Хвилястість займає проміжне положення між відхиленнями форми та шорсткістю. Проте її роль часто недооцінюється через відсутність чіткої стандартизації параметрів. Встановлено, що хвилястість визначає фактичну площу контакту спряжених поверхонь, а також рівень контактних напружень та інтенсивність зношування та умови тертя [3-6].

Наявність хвилястості призводить до суттєвого зменшення опорної площі контакту. Це викликає локальні перевантаження, підвищення контактних напружень, прискорення зношування. Хвилястий профіль поверхні негативно впливає на герметичність з'єднань, сприяє розвитку корозійних процесів. Може бути причиною вібрацій, нестабільної роботи вузлів машин. Отже, забезпечення оптимальних параметрів хвилястості є необхідною умовою для підвищення ресурсу деталей.

Формування хвилястості поверхні зумовлено складною взаємодією технологічних факторів. До основних з них належать: режими різання (глибина різання, подача, швидкість); геометрія, стан інструменту; жорсткість технологічної системи; точність обладнання; фізико-механічні властивості матеріалу, що оброблюється. Особливу роль відіграють динамічні явища при обробці (коливання інструмента, заготовки, регенеративні ефекти та автоколивання). Вони є основною причиною утворення періодичних нерівностей.

Під час фрезерування хвилястість формується внаслідок переривчастого характеру різання зубцями фрези, а також динамічної нестабільності технологічної системи. Джерелами коливань можуть виступати: дисбаланс обертових елементів; знос вузлів верстата; неточність передач; зовнішні вібраційні впливи. Це призводить до виникнення гармонійних коливань. Вони відбиваються на поверхні у вигляді хвиль із певною амплітудою, кроком.

Ефективним способом забезпечення необхідних експлуатаційних властивостей деталей є прогнозування параметрів хвилястості, яке відбувається ще на етапі проектування технологічного процесу. Для цього використовуються методи математичного моделювання – рівняння балансу переміщень, а також апарат передаточних функцій. Такі підходи дозволяють враховувати як пружні деформації технологічної системи, так і знос інструменту, температурні впливи, динамічні ефекти.

Визначати режими обробки, за яких виникають автоколивання, і уникати їх дозволяє застосування частотного аналізу, критеріїв стійкості. Ідентифікація технологічної системи на підставі експериментальних даних дозволяє уточнювати параметри моделей, підвищувати точність прогнозування хвилястості.

Важливим етапом забезпечення якості поверхні є контроль хвилястості. Його доцільно здійснювати із застосуванням автоматизованих систем вимірювання, а також аналізу профілю поверхні. Використання комплексних параметрів (W_{\max} , W_z , S_w та ін.) дозволяє більш повно оцінити стан поверхні, а також встановити зв'язок

із експлуатаційними характеристиками деталей.

Практична реалізація підходу, який базується на прогнозуванні та контролі хвилястості, передбачає наступне: вибір оптимальних режимів різання з урахуванням динамічної стійкості системи; підвищення жорсткості технологічної системи; зменшення впливу вібрацій через балансування, демпфування; контроль стану інструмента, вчасна його заміна; покращення якості початкових заготовок.

Забезпечення експлуатаційних властивостей деталей сільськогосподарських машин неможливе без урахування хвилястості. Це один із визначальних параметрів якості поверхні. Комплексне застосування методів прогнозування, контролю хвилястості дозволяє підвищити зносостійкість, надійність, довговічність деталей, а також зменшити витрати на ремонт, технічне обслуговування техніки. Це підтверджує доцільність досліджень у напрямі вдосконалення математичних моделей, технологічних методів керування параметрами хвилястості.

Список використаних джерел

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.
2. Коробко Б.О., Фролов Є.А., Попов С.В., Ясько С.Г. Прогресивні технології у машинобудуванні. Навчальний посібник для студентів механічних спеціальностей закладів вищої освіти. Полтава: Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2020. 168 с.
3. Когут М.С., Лебідь Н.М., Білоус О.В., Кравець І.Є. Основи взаємозамінності, стандартизації, сертифікації, акредитації та технічні вимірювання. Львів : Світ, 2010. 528 с.
4. Саранча Г.А., Якимчук Г.К. Метрологія, стандартизація та управління якістю: підручник. Київ : Основа, 2004. 376 с.
5. Posdich M., Stöckmann R., Klimant P., Putz M. «Investigation of the influence of surface waviness of aluminium on the burnishing quality of a combined process», *Procedia Manufacturing*, 2020. DOI: 10.1016/j.promfg.2020.02.185
6. Lin X. «Research on the mechanism of milling surface waviness formation in thin-walled blades», *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2017. DOI: 10.1007/s00170-017-0669-3



Лавренко В.В.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра,
e-mail: volodymyr.lavrenko@pdau.edu.ua,

Гончаренко О.О.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра
e-mail: oleksandr.honcharenko@pdau.edu.ua,

Шевченко І.О.,

кандидат технічних наук, доцент,
*Державний біотехнологічний університет,
м. Харків, Україна*

ОПТИМІЗАЦІЯ КІЛЬКІСНОЇ ПОТРЕБИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЗБИРАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Проблематика оптимізації кількості транспорту в період збирання врожаю полягає у високій невизначеності та динамічності процесу. Це не просто математичне рівняння, а пошук компромісу в умовах багатьох змінних.

Проблеми, що спостерігаються у визначенні кількісної потреби транспортних засобів умовно можна розділити на блоки:

Перший блок ситуаційних проблем:

- Технологічна невідповідність (проблема синхронізації в роботі).

Дискретність чи/або безперервність - збиральна техніка працює безперервно, а транспорт рухається не рівномірно, порціями. Будь-яка затримка вантажівки хоча б на 10 хвилин призводить до хоч і не тривалої, але повної зупинки комбайна, вартість якого досить суттєва.

Невідповідність об'ємів, якщо місткість кузова вантажівки наприклад не кратна об'єму бункера комбайна, виникає втрата ефективності, чим гальмується виробничий процес.

Швидкість розвантаження чи завантаження - наприклад у полі, на вагах або елеваторі - утворюються черги, що порушує ритмічність логістики.

Другий блок ситуаційних проблем:

Вплив зовнішніх та випадкових факторів (збурений, не керований процес) – навіть у межах одного поля врожайність може коливатися.

Де вона вища, бункер наповнюється швидше, і розрахована кількість машин раптово стає недостатньою.

Логістичні зміни - зміна стану самих польових доріг (наприклад - після дощу чи запиленість, що впливає на швидкість руху та безпеку, людський фактор (затримки водіїв чи поломки в прокладанні маршруту) - такі явища важко піддаються точному прогнозуванню.

Зміна відстані транспортування – перевезення з іншого краю поля чи навіть з іншого поля, при переході на нові ділянки, що різко змушує переглядати графіки роботи та кількість вантажівок.

Третій блок ситуаційних проблем:

- Економічний чинник та конфлікт інтересів фахівців – надлишок автотранспорту - наприклад ставиться вимога до збільшення кількості машин, ніж потрібно, щоб комбайни гарантовано не простоювали. Але це призводить до простою вантажівок, зайвих витрат на паливо та оплату праці.

Для оптимізації процесу слід мінімізувати час простоїв кожної з ланок процесу – збиральної техніки та транспортних засобів, при забезпеченні максимального використання їх вантажопідйомності (місткості). Для забезпечення безперебійної роботи збиральної техніки необхідно щоб транспортні засоби були готові до приймання зібраного урожаю при наповненні бункера [1-4].

Оптимізація кількості транспортних засобів для транспортування від збиральної техніки це завдання масового обслуговування. Головна мета якого знайти баланс між простоями комбайнів (через очікування машини) та простоями машин (через очікування завантаження).

При вирішенні цих завдань слід застосовувати базові показники, а саме - продуктивність комбайна W - т/год, місткість бункера g_k - м³, урожайність Q - т/га, $F_{га}$ - площа поля, та довжина гону (для заповнення об'єму бункера), швидкість транспорту V_{cp} - км/год та відстань перевезення L - км.

Найпростіший спосіб - визначити кількість машин (N_M) для одного комбайна можна визначити за формулою:

$$N_M = T_{ц}/t_3 = t_3 + t_{рв} + t_{роз} + t_{рп}/t_3,$$

де t_3 - час завантаження одного автомобіля (залежить від продуктивності комбайна та об'єму бункера,

$t_{рв}$ - час руху з вантажем,

$t_{роз}$ - час розвантаження,

$t_{рп}$ - час руху порожнім.

Для групи комбайнів (K) загальна кількість машин (N) розраховується наступним чином:

$$N = K \cdot G/q_n \cdot \gamma_v \cdot (2L/V_{cp} + t_{роз}),$$

де K – кількість комбайнів (шт.),

W - продуктивність одного комбайна, т/год,

q_n - номінальна вантажопідйомність автомобіля, т,

γ_v - коефіцієнт використання вантажопідйомності,

L - відстань перевезення, км,

V_{cp} – середня швидкість транспорту враховуючи рух з вантажем і порожнім,

$t_{роз}$ - час на підготовчо-заклучні операції (зважування, маневри під завантаженням та саме розвантаження) [5-6].

Тривалість одного циклу перевезення можна зобразити графічно наступним чином.

Отже для оптимізації кількісної потреби у транспортних засобах під час збирання врожаю необхідно зібрати та проаналізувати три основні групи даних: параметри збиральної техніки, характеристики транспорту та логістичні умови. А отже проводити синхронізацію циклів, зменшувати простої збиральної та

транспортної техніки, запроваджувати проміжну ланку (перевантажувачі), проводити математичне моделювання для розрахунку оптимального складу збирально-транспортного комплексу.

Список використаних джерел

1. Надикто В.Т., Кюрчев В.М., Кувачов В.П. Використання техніки в агропромисловому комплексі: Підручник, 2020. 248 с
2. Мельник В. П. Оптимізація транспортного забезпечення збирання зернових культур // Вісник НУБіП України. 2021. № 4. С. 42-47.
3. Бойко І. М. Транспортні технології в агропромисловому комплексі. Київ : Аграрна наука, 2019. 312 с.
4. Погорілий П. О. Агроінженерія: транспортні системи та технології. Київ : НАУ, 2022. 294 с.
5. Тарасенко О. Г. Транспортні технології в аграрному секторі. Харків : ХНТУСГ, 2020. 214 с.
6. Гаврилюк С. В. Підвищення ефективності використання збирально-транспортних комплексів у малих господарствах // Механізація та електрифікація сільського господарства. 2019. № 8. С. 17-23.

Попов С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

SMART-СЕРВІС ДЕМОНТАЖУ ЗАКИСЛИХ РІЗЬБОВИХ З'ЄДНАНЬ

Під час експлуатації транспортних засобів, сільськогосподарської техніки та промислового обладнання значна кількість різьбових з'єднань піддається впливу корозії, високих температур, вологи та механічних навантажень. У результаті цього виникає явище «закисання» гайок і болтів [1, 2]. Це суттєво ускладнює їх демонтаж під час проведення сервісного обслуговування та ремонтних робіт [3]. Традиційні методи демонтажу закислих різьбових з'єднань, зокрема використання гайкових ключів, нагрівання або ударного інструменту, не завжди забезпечують ефективний результат [4, 5]. Вони можуть призводити до пошкодження різьби, деталей механізмів або травмування персоналу [6]. Одним із сучасних рішень цієї проблеми є застосування спеціалізованого сервісного інструменту – гайколому (рисунок 1).

Принцип роботи гайколому полягає у локальному руйнуванні гайки за допомогою загартованого ріжучого елемента. Він створює концентроване навантаження на корпус кріплення. Це дозволяє швидко демонтувати пошкоджені або корозійні гайки без пошкодження болта чи суміжних деталей.

Інструмент характеризується простотою конструкції, мобільністю та можливістю використання у важкодоступних місцях (рисунок 2).



Рисунок 1 – Набір гайколомів

Концепція «Smart-сервісу» передбачає впровадження сучасних технологій обслуговування, спрямованих на підвищення швидкості, безпеки та ефективності виконання ремонтних і монтажно-демонтажних операцій. Основною метою такого підходу є оптимізація сервісних процесів, зниження витрат часу на технічне обслуговування обладнання та забезпечення високого рівня надійності під час проведення ремонтних робіт. Використання інноваційних технічних рішень у сфері сервісного обслуговування сприяє скороченню часу на виконання окремих операцій, покращенню умов праці персоналу та зменшенню ймовірності виникнення аварійних ситуацій.



Рисунок 2 – Застосування гайколомів

Перспективним напрямом розвитку є створення інтелектуальних сервісних систем із контролем зусилля руйнування, використанням високоміцних матеріалів та інтеграцією цифрових технологій моніторингу технічного стану інструменту. Це сприятиме підвищенню якості технічного сервісу та розширенню сфер застосування подібного обладнання.

Таким чином, застосування гайкорізів у рамках концепції Smart-сервісу є ефективним технічним рішенням для демонтажу закислих різьбових з'єднань та має значний потенціал для впровадження у сучасній ремонтній практиці.

Список використаних джерел

1. Гнітько С.М., Васильєв Є.А., Попов С.В. Удосконалення процесу технічного обслуговування та ремонту штуцерів гальмівних систем. *Наукові підсумки 2020 року: зб. наук. праць ІХ наук. конф., м. Харків, Технологічний центр, 29 грудня 2020 р. Харків, 2020. С. 10.*
2. Gnitko S., Vasyliiev Ie., Popov S. Designing an improved structure of the tool for repairing the brake pipe connectors in vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2021. №1/1 (109). P. 20-26.
3. Жовновач Р.І. Сервісне обслуговування як умова забезпечення конкурентоспроможністю підприємств сільськогосподарського машинобудування. *Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Економічні науки*. 2015. Вип. 2. С. 206-215.
4. Гнатів А. В., Чаплигін Є. О., Сабокар О. С. Технічні рішення для індукційного нагріву в технологіях ремонту. *Науковий вісник Херсонської державної морської академії*. 2015. № 2 (13). С. 163-171.
5. Batyhin Yu., Sabokar O., Strelnikova V. Індукційний нагрів в історії та у розвитку. Використання в ремонтних технологіях сучасного транспорту. *Автомобільний транспорт*. 2017. № 40. С. 75-79.
6. Croccolo D., De Agostinis M., Fini S. et al. Failure of Threaded Connections: A Literature Review. *Machines*. 2023. Vol. 11, Iss. 2. P. 212-245.



Чумак М.В.,
асистент кафедри агроінженерії
та автомобільного транспорту,
магістр, інженер-дослідник з технічного
забезпечення агропромислового виробництва
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПРАКТИЧНІ РІШЕННЯ

Машинно-тракторний парк є основою технічного забезпечення сучасного аграрного виробництва. Від рівня його використання залежать своєчасність виконання польових робіт, продуктивність праці, собівартість продукції та загальна економічна ефективність сільськогосподарського підприємства. У сучасних умовах зростання цін на паливно-мастильні матеріали, техніку та запасні частини особливого значення набуває пошук шляхів підвищення ефективності використання наявного машинно-тракторного парку. Рациональне застосування технічних ресурсів дозволяє знизити витрати виробництва, підвищити врожайність і забезпечити стабільний розвиток аграрного сектору.

Одним із головних напрямів підвищення ефективності є оптимізація структури машинно-тракторного парку. Склад техніки повинен відповідати площам обробітку, спеціалізації господарства, агротехнічним строкам виконання робіт та особливостям ґрунтово-кліматичних умов. Надлишкова кількість машин призводить до зростання витрат на утримання, тоді як нестача техніки викликає порушення технологічних строків і втрати врожаю. Тому важливим завданням є визначення раціонального співвідношення тракторів, ґрунтообробних, посівних, збиральних та транспортних машин.

Вагомим резервом ефективності є підвищення технічної готовності машинно-тракторного парку. Своєчасне технічне обслуговування, діагностика та профілактичний ремонт дозволяють зменшити кількість відмов у період інтенсивних сезонних робіт. Використання сучасних методів моніторингу технічного стану, зокрема датчиків контролю, електронних систем діагностики та сервісного супроводу, сприяє подовженню ресурсу техніки та зниженню витрат на аварійні ремонти.

Суттєвий вплив на результативність роботи має впровадження цифрових технологій управління технікою. Використання GPS-навігації, систем точного землеробства, телеметрії та програмного забезпечення для планування робіт дозволяє оптимізувати маршрути руху машин, скоротити простой, зменшити перекриття під час обробітку поля та забезпечити точне внесення насіння, добрив і засобів захисту рослин. Завдяки цьому підвищується продуктивність агрегатів і знижуються експлуатаційні витрати.

Важливим чинником є раціональна організація використання машинно-тракторного парку. Ефективне планування змінної роботи, правильне комплектування машинно-тракторних агрегатів, узгодження технологічних операцій та оптимальний розподіл техніки між виробничими підрозділами забезпечують повніше завантаження машин протягом сезону. Значну роль відіграє також підготовка механізаторів, оскільки кваліфікований персонал здатний забезпечити дотримання технологічних режимів роботи та економне використання ресурсів [1-4].

Окрему увагу слід приділити оновленню технічного парку. Використання застарілої техніки часто супроводжується високими витратами пального, низькою продуктивністю та значними витратами на ремонт. Поетапна модернізація машинно-тракторного парку шляхом придбання сучасних енергоощадних машин або оновлення окремих вузлів дозволяє підвищити технічний рівень виробництва без надмірного фінансового навантаження на підприємство.

Ефективність використання техніки значною мірою залежить і від економічного аналізу результатів її експлуатації. Регулярне визначення собівартості механізованих робіт, витрат пального, коефіцієнта використання змінного часу, продуктивності агрегатів та рівня завантаження машин дозволяє виявляти резерви підвищення ефективності та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Отже, підвищення ефективності використання машинно-тракторного парку є комплексним завданням, що охоплює оптимізацію структури техніки, підтримання її технічної готовності, впровадження цифрових технологій, раціональну організацію робіт, оновлення машин та постійний економічний контроль. Реалізація цих заходів забезпечує зростання продуктивності аграрного виробництва, зниження витрат і підвищення конкурентоспроможності сільськогосподарських підприємств.

Список використаних джерел

1. Мельник І. І. Експлуатація машинно-тракторного парку : навч. посіб. Київ: Аграрна освіта, 2018. 192 с.
2. Precision agriculture technologies in machinery management // Journal of Agricultural Engineering. 2022. Vol. 53, № 4. P. 115–123.
3. FAO. Farm mechanization and sustainable agriculture. Rome : FAO, 2021. 146 p.
4. Satellite navigation systems in agricultural machinery // Agricultural Engineering International. 2020. Vol. 22, № 3. P. 87–95.



Ситник І.М.

здобувач вищої освіти ступеня магістра,

Іванкова О.В.

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії

та автомобільного транспорту

e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет**м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОІСКРОВОЇ ОБРОБКИ

На сучасному етапі розвитку ремонтного виробництва однією з найбільш актуальних проблем залишається відсутність високоефективних технологій відновлення посадочних поверхонь відповідальних деталей машин. Підвищення ефективності ремонтних процесів безпосередньо пов'язане з упровадженням ресурсо- та енергозберігальних технологій, здатних забезпечити відновлення експлуатаційних характеристик деталей при мінімальних матеріальних і енергетичних витратах.

Метод електроіскрового нарощування ґрунтується на явищах електричної ерозії та масоперенесення матеріалу анода на катод під дією імпульсних електричних розрядів [1]. У процесі обробки між вібруючим електродом та поверхнею деталі формується міжелектродний проміжок, у якому накопичується електрична енергія. При досягненні критичної напруженості електричного поля виникає іскровий розряд, через канал якого миттєво вивільняється накопичена енергія. Інтенсивний потік електронів забезпечує локальний нагрів поверхні анода до температур 10000–12000 °С, унаслідок чого відбувається плавлення, випаровування та мікрровибух окремих ділянок матеріалу. Частинки розплавленого металу транспортуються до поверхні катода та формують зміцнений функціональний шар [1, 2].

Перевагою електроіскрового нарощування є можливість формування поверхневих шарів із регламентованими фізико-механічними властивостями без суттєвого впливу на структуру та характеристики серцевини деталі. Технологія забезпечує нанесення зносостійких покриттів із високовуглецевих сплавів, заевтектонічних сталей і чавунів, які характеризуються низькою технологічністю при використанні традиційних методів обробки. Крім того, швидка кристалізація розплавленого металу сприяє утворенню дрібнодисперсної структури та підвищенню межі розчинності легувальних елементів у зміцненому шарі.

Типові режими електроіскрового нарощування характеризуються силою струму в розрядному контурі 1–10 А, напругою пробою 50–100 В та ємністю конденсаторів 10–150 мкФ [2, 3]. Лінійна швидкість переміщення точки контакту електрода з поверхнею деталі визначається залежністю:

$$V = \frac{1}{K_1} d \cdot f, \text{ мм/с}, \quad (1)$$

де f - частота проходження імпульсів.

При $d=1\text{мм}$ лінійна швидкість електроду відповідатиме $v = 3000d / \text{хв.}$, $V = 3\text{м} / \text{хв.}$

За умови $d=1\text{ мм}$ лінійна швидкість електрода становить близько $V=3\text{ м/хв.}$

Відповідно до результатів досліджень [2], продуктивність найбільш поширених методів наплавлення, зокрема наплавлення в середовищі CO_2 та вібродугового наплавлення, перебуває в межах 20 - 40 м/год. Це свідчить про конкурентоспроможність електроіскрового нарощування за показниками продуктивності та якості покриття.

Частоту обертання відновлюваної деталі визначають із виразу:

$$n_d = \frac{60 \cdot D \cdot f}{\pi d \cdot K_c}, \text{об/хв.}, \quad (2)$$

де D - діаметр деталі, мм.

Повздовжню подачу на один оберт деталі розраховують за формулою:

$$S = \frac{d}{k_2}, \text{мм/об.} \quad (3)$$

У результаті підстановки розрахункових параметрів отримано рекомендовані режими обробки: частота обертання деталі 100–250 хв^{-1} , повздовжня подача супорта d , K_1 , d і f , $n_d = 121.7\text{ об/хв.}$, $s = 1.27\text{ мм/об.}$, частота вібрації електрода 50 Гц, кількість проходів електрода - від 1 до 8.

Отримані результати свідчать, що електроіскрове нарощування забезпечує формування якісного зміцненого шару в межах розрахованих технологічних параметрів. Це підтверджує доцільність застосування даного методу для відновлення зношених деталей машин на підприємствах технічного сервісу з метою підвищення їх довговічності та експлуатаційної надійності.

Список використаних джерел

1. Лещенко Л. А. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки : підручник / Л. А. Лещенко. К. : Наука, 2008. 256 с.
2. Іванкова О.В. До питання відновлення зношених деталей ходової частини автомобілів. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені П. Василенка. Випуск 158. Харків: 2015. С. 70 -73
3. Поверхневе зміцнення сталі 40Х електроіскровим легуванням [Електронний ресурс] / С. І. Криштопа, Д. Ю. Петрина, І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, В. М. Мельник // *Фізико-хімічна механіка матеріалів*. 2017. Т. 53, № 3. С. 56-62.

Очнев О.В.

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії

Іванкова О.В.

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії

та автомобільного транспорту

e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет**м. Полтава, Україна*

ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ВІДНОВЛЕННЯ ПОВЕРХНЕВИХ ШАРІВ ЗНОШЕНИХ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Сучасне сільськогосподарське виробництво потребує впровадження ефективних технологій, спрямованих на підвищення надійності машин та зниження собівартості продукції. Основними показниками надійності деталей є міцність, зносостійкість, вібростійкість і теплостійкість [1]

Одним із важливих напрямків підвищення ресурсу техніки є відновлення зношених деталей. Аналіз причин відмов машин показує, що близько 60 % несправностей пов'язані зі зношуванням деталей, а близько 20 % - з механічними пошкодженнями. Найбільшому спрацюванню піддаються деталі циліндричної форми - вали та осі.

Дослідження свідчать, що більшість деталей вибраковується вже при зношуванні 0,3-0,6 мм, тоді як ресурс відновлених валів і осей становить лише 30–70 % довговічності нових деталей. Це підтверджує необхідність удосконалення технологій зміцнення та відновлення поверхневого шару деталей машин.

Основні причини відмов машин згідно [1, 3] приведено на рис.1.



Рисунок 1- Основні причини відмов машин

Експлуатаційні властивості деталей визначаються станом їхнього поверхневого шару, який сприймає основні навантаження, тертя та вплив зовнішнього середовища. Для підвищення довговічності валів застосовують різні методи зміцнення поверхні, серед яких найбільш поширеним є нанесення металевих покриттів, що дозволяє відновити геометричні параметри та покращити експлуатаційні характеристики деталей [2, 3].

Таблиця 1 – Порівняльний аналіз методів відновлення деталей типу вал

Метод відновлення	Опис	Переваги	Недоліки
1. Наплавлення металевим електродом	Швидке нанесення зносостійкого покриття	Швидкість, економичність	Можливі тріщини, обмежена якість обробки
2. Гальванічні покриття	Нанесення шарів за допомогою електролізу	Висока точність, рівномірність	Лише поверхневі дефекти, обмеження по глибині
3. Лазерне наплавлення	Лазерний промінь для створення шарів	Висока якість, мінімальні деформації	Висока вартість, потреба високої кваліфікації
4. Газотермічні покриття	Нагрівання газовим пальником та наплавлення	Швидкість, економічність	Можливі термічні деформації
5. Аргоно-дугове зварювання з біметалевими покриттями	Застосування аргоно-дугового зварювання	Висока якість, сумісність з різнорідними матеріалами	Висока вартість, потреба у спеціалізованих знаннях
6. Супердеформування (гідралік.)	Гідропреси для відновлення форми	Простота, економічність	Лише для геометричних дефектів

Кожен метод відновлення деталей має свої переваги, недоліки та область застосування. Якість і довговічність покриттів залежать від технологічних режимів нанесення, а вибір способу відновлення визначається міцністю зчеплення, товщиною шару, механічними властивостями покриття, продуктивністю та енергетичними витратами.

Різноманіття технологій і матеріалів дає змогу обирати оптимальні способи відновлення залежно від характеру зношування та дефектів деталей. Раціональний вибір технології дозволяє підвищити ресурс деталей і ефективність ремонтного виробництва.

Отже, раціональний вибір методу відновлення деталей є важливою умовою підвищення їх довговічності та надійності. Ефективність відновлення визначається технологічними параметрами нанесення покриттів, властивостями матеріалів і характером зношування деталей. Застосування оптимальної технології дозволяє збільшити ресурс деталей, знизити трудомісткість ремонту та підвищити ефективність ремонтного виробництва.

Список використаних джерел

4. Трибофізичні основи підвищення надійності мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки технологіями триботехнічного відновлення : монографія / Аулін В. В. та ін. ; за ред. В. В. Ауліна. Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2016. 303 с.

5. Лещенко Л. А. Електрофізичні та електрохімічні методи обробки : підручник / Л. А. Лещенко. К. : Наука, 2008. 256 с.

6. Dudnikov A.A., Ivankova O.V., Gorbenko O.V., Kelemesh A.O. Effect of vibration treatment on increasing the durability of tillage equipment working bodies. Eastern-European journal of enterprise technologies. 2021. № 2/1 (110). P. 104-108. DOI: 10.15587/1729-4061.2021.228606.

Підгорний Я.В.

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії

Іванкова О.В.

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії

та автомобільного транспорту

e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м. Полтава, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ЗМІЦНЕННЯ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Надійність машин і механізмів є одним із базових критеріїв, що визначають не лише їхню експлуатаційну ефективність, але й загальну економічну доцільність їхнього застосування. В сучасних умовах, що характеризуються високою інтенсивністю механізації та автоматизації виробничих процесів, питання забезпечення довговічності деталей виходить за межі суто технічної задачі. Воно набуває значного економічного та, що не менш

Деградація поверхневого шару деталей проявляється у комплексі негативних явищ:

- зміна її початкової геометрії та розмірів.
- небажане підвищення шорсткості робочої поверхні.
- втрата здатності утримувати змазувальний шар.
- більшення критичних зазорів у сполученнях.

Вирішення проблеми підвищення надійності деталей цього типу є комплексним завданням. Традиційно його можна досягти кількома основними шляхами: вибором нових високоміцних та зносостійких матеріалів, удосконаленням самої конструкції вузла, або застосуванням сучасних мастильних композицій. Проте, як показує практика та аналіз відмов,

найважливішим та найбільш технологічно ефективним напрямком є цілеспрямоване покращення властивостей саме поверхневого шару деталі.

Таблиця 1 – Класифікація методів підвищення надійності втулок та їх основні характеристики

Методи	Приклади технологій [1,3]	Основні характеристики та недоліки
Термічні	Гартування, цементація, азотування, борування	+ Забезпечують високий рівень твердості. – Висока енергоємність, ризик деформації деталі через нагрівання та охолодження.
Фізико-хімічні	Покриття PVD/CVD, плазмове та вакуумне напилення	+ Дозволяють формувати покриття з високими експлуатаційними характеристиками. – Часті проблеми з адгезією (зчепленням) покриття до основного металу.
Електрофізичні	Лазерна, електроіскрова, ультразвукова обробка	+ Забезпечують локальне зміцнення без значного теплового впливу. – Вимагають складних систем управління та високоточного обладнання.
Механічні	Дробоструминне зміцнення, обкатування, ППД	+ Оптимальне поєднання ефективності й економічності, відсутність термічного впливу. + Формують стискуючі залишкові напруження та наклеп.

Найбільш оптимальними з погляду ефективності й економічності є механічні методи, зокрема поверхневе пластичне деформування.

Це процес, у якому на поверхню діють зусилля, що перевищують межу текучості матеріалу, внаслідок чого в приповерхневому шарі виникають стискуючі залишкові напруження і наклеп.

Саме такий підхід дозволяє досягти комплексного покращення властивостей: підвищити мікротвердість поверхні на 30–70 %, значно знизити її шорсткість (у 2–3 рази) та, як наслідок, збільшити опір втомі на 40–60 % [1].

Отже, можна зробити висновки:

Надійність і довговічність деталей машин значною мірою залежать від стану їхнього поверхневого шару, який зазнає основних експлуатаційних навантажень.

Зношування поверхні призводить до зміни геометрії деталей, підвищення шорсткості, погіршення умов мащення та збільшення зазорів у сполученнях.

Аналіз методів зміцнення показав, що найбільш ефективними та економічно доцільними є механічні методи, зокрема поверхневе пластичне деформування.

Застосування поверхневого пластичного деформування забезпечує підвищення мікротвердості, зниження шорсткості та збільшення втомної міцності деталей, що сприяє підвищенню їхньої надійності й ресурсу.

Список використаних джерел

1. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування: монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158 с.
2. Підвищення довговічності поверхні шийок колінчастого вала двигуна шляхом вібровальцювання / О. Новик та ін. Сучасні шляхи розвитку сільськогосподарського виробництва. Тенденції та інновації: Матеріали конференції / Таврійський державний агротехнологічний університет. 2019. Ч. 1. С. 177-182.
3. Ivankova O., Fedin V. Research on the restoration of gear pump parts by plastic deformation. *Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences*. 2025. 12(43). P. 175–186. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.175-186](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186)



Федін В.О.

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії
e-mail: vitalii.fedin@pdau.edu.ua

Іванкова О.В.

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії
та автомобільного транспорту
e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ВІБРАЦІЙНО-МЕХАНІЧНА ОБРОБКА ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ

Вирішення проблеми підвищення надійності деталей сільськогосподарської техніки є комплексним завданням. Традиційно його можна досягти кількома основними шляхами: вибором нових високоміцних та зносостійких матеріалів, удосконаленням самої конструкції вузла, або застосуванням сучасних мастильних композицій. Проте, як показує практика та аналіз відмов, найважливішим та найбільш технологічно ефективним напрямком є цілеспрямоване покращення властивостей саме поверхневого шару деталі [1]

Зношування робочих поверхонь деталей машин безпосередньо призводить до низки негативних наслідків. По-перше, це спричиняє пряме збільшення енергоспоживання агрегатів. По-друге, неминуче знижується загальний коефіцієнт корисної дії обладнання. По-третє, це провокує суттєве зростання непланових витрат на ремонтні роботи та дороге технічне обслуговування. Згідно з даними сучасних досліджень [2], понад 60 % усіх відмов у роботі сільськогосподарських агрегатів безпосередньо пов'язані зі зносом саме деталей тертя типу втулка.

В останні роки значної уваги набули гібридні методи, що поєднують механічні та вібраційні впливи.

Такі технології дозволяють інтенсифікувати пластичну деформацію, зменшити фрикційні сили та досягти одноріднішої структури наклепу.

Одним із перспективних напрямків підвищення довговічності деталей машин є застосування методів поверхневого пластичного деформування.

Суть процесу полягає у локальному впливі спеціального інструмента - кульки або ролика - на поверхню деталі з навантаженням, що перевищує межу текучості матеріалу. У результаті цього у приповерхневому шарі формуються пластичні деформації, наклеп та стискуючі залишкові напруження, які покращують експлуатаційні властивості деталей.

Додатковими перевагами ППД є низька енергоємність, технологічна простота та можливість інтеграції у процеси виготовлення і ремонту деталей [1].

Особливий інтерес становить вібраційно-механічна обробка. Ефективність вібраційно-механічно обробки пояснюється комплексним впливом на характеристики поверхневого шару. Метод забезпечує одночасне підвищення

мікротвердості, формування стискуючих залишкових напружень та зниження шорсткості поверхні. Саме поєднання цих факторів визначає підвищення зносостійкості та втомної міцності деталей [1, 3]

Довговічність деталей після вібраційно-механічно обробки залежить не лише від величини мікротвердості, а й від узгодженості всіх параметрів поверхневого шару: глибини зміцнення, рівня залишкових напружень, шорсткості та коефіцієнта тертя. Найкращі результати досягаються за умови формування рівномірного зміцненого шару з достатньою глибиною та низькою шорсткістю поверхні [2, 3].

Вплив характеристик поверхневого шару на показники довговічності деталей приводимо у таблиці 1.

Таблиця 1 – Взаємозв'язок між показниками поверхневого шару та довговічністю деталей

Показник	Вплив на деталь	Бажаний напрям зміни	Очікуваний результат
Мікротвердість HV	Підвищує опір абразивному зношуванню	Збільшення	Зменшення інтенсивності зносу
Шорсткість Ra	Впливає на тертя та утримання мастила	Зменшення до оптимуму	Стабільніший контакт у спряженні
Глибина шару h	Визначає запас зміцнення під поверхнею	Збільшення	Довший період збереження властивостей
Залишкові напруження $\sigma_{\text{зал}}$	Перешкоджає розвитку втомних тріщин	Збільшення стиску	Підвищення опору втомі
Коефіцієнт тертя μ	Впливає на нагрів і втрати енергії	Зменшення	Менше теплове навантаження

Отже, практичне значення вібраційно-механічної обробки полягає у можливості оптимізації режимів зміцнення шляхом зміни сили притискання інструмента, амплітуди та частоти коливань. Це дозволяє обґрунтувати технологічні параметри процесу та підвищити ефективність відновлення і зміцнення втулок у ремонтному виробництві.

Список використаних джерел

1. Нові технологічні процеси з використанням прогресивних методів пластичного деформування : монографія / О. В. Нахайчук та ін. Вінниця : УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2008. 158 с.

2. Ivankova O., Fedin V. Research on the restoration of gear pump parts by plastic deformation. Central Ukrainian Scientific Bulletin. Technical Sciences. 2025. 12(43). P. 175–186. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12\(43\).1.175-186](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.12(43).1.175-186)

3. Паніна В. В., Дідур В. В., Сірий І. С., Чорна Т. С. Зміцнення деталей за допомогою поверхнево-пластичної деформації. *Науковий вісник ТДАТУ*. Мелітополь, 2020. Вип. 10, т. 2. С. 125–135. DOI: 10.31388/2220-8674-2020-2-13.

Зеленець В.А.

здобувач вищої освіти ступеня бакалавра

Іванкова О.В.

к.т.н., доцент кафедри агроінженерії

та автомобільного транспорту

e-mail: olena.ivankova@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м. Полтава, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ЯКОСТІ ВІДНОВЛЕНИХ ПОВЕРХОНЬ ВІД РЕЖИМІВ ОБРОБКИ ТА МАТЕРІАЛУ ЕЛЕКТРОДА

Високі експлуатаційні властивості деталей машин є важливою умовою ефективної роботи сільськогосподарської техніки. Підвищення ресурсу відремонтованих деталей досягається завдяки застосуванню сучасних технологій відновлення та новітніх матеріалів.

Вибір способу ремонту залежить від матеріалу деталі, умов експлуатації та технології виготовлення. Зростання вимог до якості й зносостійкості покриттів обумовлює необхідність дослідження електродних матеріалів і режимів їх нанесення.

Метою дослідження є визначення впливу складу електродів на мікроструктуру, твердість, міцність зчеплення та зносостійкість нарощеного шару. Для відновлення високоміцних деталей перспективним є застосування електроіскрової обробки, яка дозволяє використовувати електроди, близькі за властивостями до основного матеріалу деталі.

Суть електроіскрового легування (ЕІЛ) полягає у дії потужних імпульсних електричних розрядів, під впливом яких частинки металу анода переносяться на поверхню деталі та формують зміцнений шар із високою твердістю і зносостійкістю [1, 3].

Якість сформованого покриття залежить від режимів обробки, властивостей електродного матеріалу та характеристик основного металу [2, 3].

Аналіз досліджень показує, що найбільшу зносостійкість забезпечують леговані електродні матеріали, зокрема хромисті сплави. Для дослідження впливу параметрів процесу використовували леговані аноди з різним вмістом вуглецю та хрому. Встановлено, що найбільший приріст матеріалу на поверхні деталі досягається при високих значеннях енергії імпульсу та кількості проходів електрода.

Мікроструктурний аналіз показав, що за одного проходу формується дрібнозерниста мартенситна структура, тоді як збільшення кількості проходів

призводить до утворення грубозернистої структури та зростання внутрішніх напружень у покритті (рис.1). Це підтверджує необхідність оптимізації режимів електроіскрової обробки для забезпечення високої якості відновленого шару.

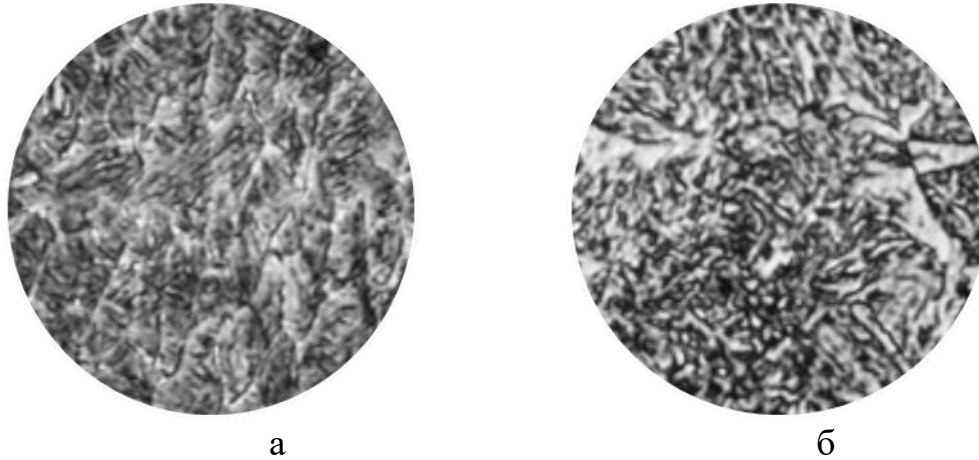


Рисунок 1 – Мікроструктура покриття а - 1 прохід електроду; б - 3 проходи електроду

Мікротвердість зразків визначали на приладі ПМТ-3 при навантаженні 50 г, а середнє значення H_m обчислювали за результатами п'яти вимірювань. Аналіз результатів показав, що зона термічного впливу змінюється незначно, тоді як твердість шару, нанесеного електродами зі сплаву 1,5 %С і 30 %Cr, у 2,18 раза перевищує твердість основного металу

Дослідження зносостійкості встановили, що найкращі результати забезпечують покриття, отримані із застосуванням низьковуглецевих, високовуглецевих та легованих електродів (табл.1). Це підтверджує ефективність електроіскрового легування для підвищення зносостійкості відновлених деталей.

Таблиця 1 – Результати випробування зразків на зносостійкість

Матеріал покриття	Маса зразка, г		Зміна маси, г	Величина зносу порівняно зі сталлю Ст.3
	початкова	кінцева		
Ст. 3	86,37	83,91	2,46	1,0
Сталь 40Х	88,40	86,68	1,72	0,70
СтальШХ15	79,95	79,62	0,33	0,13
Чавун сірий	89,15	88,05	1,10	0,45

Експериментальні дослідження показали, що для відновлення сталей Ст3 і 40Х ефективним є застосування легованих електродів із підвищеним вмістом хрому, які забезпечують високу зносостійкість, корозійну та жаростійкість покриттів.

Установлено, що якість покриття при електроіскровому нарощуванні залежить від складу анода, енергії імпульсу та кількості проходів електроду.

Використання електродів зі сплаву 150X30 дозволяє підвищити твердість покриття у 2,18 раза та забезпечити міцність зчеплення в межах 350–644 МПа.

Отже, електроіскрове легування є перспективним методом відновлення деталей сільськогосподарської техніки та потребує подальшого вдосконалення технологічних режимів і електродних матеріалів.

Список використаних джерел

1. Богатчук І. М. Реставрація робочих поверхонь штовхачів клапанів двигунів електроіскровим легуванням з застосуванням мідних електродів / І. М. Богатчук, І. Б. Прунько // Проблеми трибології. 2016. № 3. С. 69-72.
2. Поверхнєве зміцнення сталі 40Х електроіскровим легуванням [Електронний ресурс] / С. І. Криштопа, Д. Ю. Петрина, І. М. Богатчук, І. Б. Прунько, В. М. Мельник // Фізико-хімічна механіка матеріалів. 2017. Т. 53, № 3. С. 56-62.
3. Саржанов Б. А. Новий спосіб підвищення якості покриттів при відновленні деталей методом електроерозійного легування / Б. А. Саржанов. // Міжвузівський збірник «Наукові нотатки». Луцьк, 2019. С. 96–102.

Бабич Я.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Чумак М.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет
м.Полтава, Україна*

ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ МАШИН ТА ОБЛАДНАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИРОБНИЦТВА

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується активним впровадженням інноваційних технологій, автоматизованих систем керування та високопродуктивної техніки. У таких умовах особливого значення набуває ефективна експлуатація машин і обладнання, що безпосередньо впливає на продуктивність аграрного виробництва, енергоефективність технологічних процесів та економічні показники підприємств.

Одним із ключових напрямів удосконалення експлуатації машинно-тракторного парку є застосування систем точного землеробства, автоматизованого контролю технічного стану техніки та цифрового моніторингу виробничих процесів. Використання GPS-навігації, систем телеметрії, автоматичного водіння та цифрового контролю технологічних параметрів забезпечує підвищення точності виконання польових операцій, скорочення

перекриттів і пропусків, зниження витрат пального на 5–20 % та мінімізацію негативного впливу людського чинника на якість виконання агротехнологічних процесів [1-2]. Важливим напрямом також є використання безпілотних літальних апаратів для моніторингу стану посівів, визначення рівня вологості ґрунту та оперативного внесення засобів захисту рослин.

На сучасному етапі розвитку аграрного сектору України інноваційні технології точного землеробства, автоматизованого водіння та цифрового моніторингу техніки активно впроваджуються як великими агрохолдингами, так і середніми аграрними підприємствами, що сприяє підвищенню ефективності використання машинно-тракторного парку та оптимізації виробничих витрат. Сучасні українські господарства дедалі ширше використовують технології точного землеробства, системи паралельного водіння, автоматизованого управління агрегатами та цифрові платформи контролю технічних процесів. Крім цього, активно застосовують сучасні посівні комплекси, обладнані системами автоматичного регулювання висіву та притискного зусилля сошників, що забезпечує рівномірність загортання насіння та підвищення врожайності культур [3].

Особливу увагу в Україні приділяють впровадженню енергоощадних технологій та ресурсозберігаючих систем обробітку ґрунту. Використання сучасної техніки для мінімального та нульового обробітку ґрунту дозволяє зменшити ущільнення ґрунтового шару, скоротити витрати пального та зберегти природну вологість ґрунту. Водночас цифровізація аграрного сектору сприяє підвищенню ефективності управління машинно-тракторним парком, оптимізації логістичних процесів та контролю технічного стану обладнання в режимі реального часу [4].

Важливим аспектом є також впровадження сучасних методів технічного обслуговування і діагностування машин. Використання електронних систем контролю забезпечує своєчасне виявлення несправностей, підвищує надійність роботи обладнання та сприяє зменшенню простоїв техніки в період виконання польових робіт, таким чином імплементація електронних систем діагностики перетворює технічне обслуговування з регламентного (за графіком) або ремонтного (після поломки) на обслуговування за станом (predictive maintenance). Практичний досвід українських аграрних підприємств та результати наукових досліджень свідчать, що впровадження інноваційних технологій технічного сервісу, систем точного землеробства й цифрового моніторингу дозволяють підвищити продуктивність сільськогосподарської техніки на 20–40 %, а також скоротити експлуатаційні витрати в середньому на 15–30 % [5].

Зважаючи на вищезгадані інноваційні технічні та технологічні рішення фундаментальною основою сучасного аграрного виробництва залишається удосконалення професійної підготовки фахівців агроінженерії, яке повинно базуватися на поєднанні сучасних теоретичних знань із практичним опануванням новітнього обладнання та цифрових технологій, враховувати сучасні тенденції розвитку аграрного сектору, потреби ринку праці та

необхідність формування навичок роботи з автоматизованими системами управління технікою.

Таким чином, ефективне впровадження інноваційних технологій в аграрний сектор України можливе лише за умови комплексної взаємодії технічних, технологічних і людських аспектів. Сучасне обладнання та цифрові системи управління потребують не лише належного технічного забезпечення, а й удосконалення технологічних процесів та високого рівня професійної підготовки фахівців. Саме поєднання інноваційної техніки, сучасних виробничих технологій і компетентного кадрового потенціалу створює передумови для підвищення ефективності аграрного виробництва, технологічної модернізації підприємств та забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України.

Список використаних джерел

1. Сидоренко В. М. Цифровізація аграрного сектору та технології точного землеробства. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 28–36.
2. Курсов С. В. Використання GPS-навігації та цифрових платформ у технологіях точного землеробства. *Інженерія природокористування*. 2023. № 1(25). С. 55–62.
3. Мельник І.І. Експлуатація машин і обладнання в аграрному виробництві. – Київ: Аграрна освіта, 2022.
4. Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Цифрові системи моніторингу технічного стану машинно-тракторного парку. *Вісник агроінженерії*. 2024. № 2. С. 18–27.
5. Сидоренко В.М. Інноваційні технології в технічному сервісі сільськогосподарської техніки // *Техніка і технології АПК*. – 2023. – №4. – С. 35–41.



Бабич Я.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Чумак М.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет
м.Полтава, Україна*

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Ефективне функціонування сучасного агропромислового комплексу значною мірою залежить від надійності та безперебійної роботи сільськогосподарської техніки. В умовах інтенсивного використання машинно-тракторного парку особливого значення набуває організація технічного сервісу, спрямованого на підтримання працездатності машин, зниження експлуатаційних витрат та мінімізацію простоїв під час виконання технологічних операцій.

Сучасний технічний сервіс сільськогосподарської техніки являє собою комплекс організаційних, технічних та інформаційних заходів, що включають технічне обслуговування, діагностування, ремонт, забезпечення запасними частинами та цифровий моніторинг технічного стану машин. Основною метою сервісного обслуговування є забезпечення максимальної ефективності використання техніки протягом усього життєвого циклу [1].

Одним із ключових напрямів розвитку технічного сервісу є впровадження цифрових систем моніторингу та дистанційної діагностики машин. Використання телематичних платформ дозволяє здійснювати контроль параметрів роботи двигуна, гідравлічної системи, трансмісії та робочих органів у режимі реального часу. Це забезпечує можливість своєчасного виявлення несправностей та переходу від планово-попереджувальної системи ремонту до сервісу на основі фактичного технічного стану машини [2].

Наглядним прикладом є використання цифрових платформ John Deere Operations Center, CLAAS TELEMATICS та Case IH AFS Connect, які забезпечують дистанційний моніторинг роботи техніки, аналіз експлуатаційних параметрів і прогнозування технічних несправностей. Завдяки цьому сервісні інженери можуть оперативно реагувати на відхилення в роботі агрегатів та мінімізувати час простою техніки [3].

Важливим елементом сучасного технічного сервісу є автоматизація процесів обліку та планування технічного обслуговування. Використання спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє вести електронні журнали обслуговування, контролювати напруження машин, формувати графіки сервісних робіт і здійснювати управління запасами запасних частин. Це сприяє оптимізації витрат на експлуатацію техніки та підвищенню ефективності роботи сервісних служб [4].

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору України важливого значення набуває мобільний технічний сервіс. Через значну територіальну віддаленість аграрних підприємств і необхідність оперативного реагування на технічні несправності активно впроваджуються мобільні сервісні бригади, оснащені діагностичним обладнанням та інструментами для проведення ремонтних робіт безпосередньо в польових умовах. Це дозволяє скоротити транспортні витрати та забезпечити швидке відновлення працездатності машинно-тракторних агрегатів.

Особливої актуальності питання технічного сервісу набули в умовах воєнного стану в Україні. Порушення логістичних ланцюгів, складнощі із постачанням запасних частин та нестабільність сервісної інфраструктури змушують аграрні підприємства адаптувати системи технічного обслуговування до нових умов експлуатації. У зв'язку з цим зростає роль універсальних ремонтних технологій, локальних сервісних центрів та використання цифрових платформ дистанційної підтримки [5].

Не менш важливим аспектом є підготовка висококваліфікованих фахівців у сфері технічного сервісу. Сучасний агроінженер повинен володіти навичками роботи з електронними системами діагностики, телематичними платформами, програмним забезпеченням для моніторингу технічного стану техніки та сучасним сервісним обладнанням. У зв'язку з цим заклади вищої освіти активно впроваджують цифрові технології та практикоорієнтовані методи навчання у підготовку майбутніх фахівців аграрного сектору.

Отже, сучасні підходи до організації технічного сервісу сільськогосподарської техніки базуються на комплексному використанні цифрових технологій моніторингу, дистанційної діагностики, автоматизованого планування сервісних робіт та мобільного технічного обслуговування. Поєднання інноваційних технічних рішень, ефективної сервісної інфраструктури та високого рівня професійної підготовки фахівців створює передумови для підвищення надійності машинно-тракторного парку та забезпечення сталого розвитку агропромислового комплексу України.

Список використаних джерел

1. Сидоренко В. М. Організація технічного сервісу сучасної сільськогосподарської техніки. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 35–41.
2. Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Цифрові системи моніторингу технічного стану машинно-тракторного парку. *Вісник агроінженерії*. 2024. № 2. С. 18–27.
3. Курсов С. В. Інноваційні технології діагностування та ремонту сільськогосподарської техніки. *Інженерія природокористування*. 2023. № 1(25). С. 47–54.
4. *John Deere Operations Center and Connected Support Technologies*. John Deere. 2024. URL: <https://www.deere.com>.
5. Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Вплив воєнного стану на технічне забезпечення аграрного сектору України. *Вісник агроінженерії*. 2024. № 1. С. 17–24.

Бабич Я.В.

асистент кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет
м.Полтава, Україна*

ІНТЕГРАЦІЯ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ МОНІТОРИНГУ В РОБОТУ ПОСІВНИХ АГРЕГАТІВ HORSCH

Сучасний розвиток технологій точного землеробства зумовлює необхідність використання високотехнологічних посівних агрегатів, оснащених цифровими системами моніторингу та автоматизованого керування технологічними процесами. Одним із перспективних напрямів удосконалення посівної техніки є інтеграція електронних систем контролю в конструкцію сучасних сівалок, за прикладом HORSCH, реалізація яких дозволяє підвищити точність висіву, оптимізувати використання ресурсів та забезпечити стабільність агротехнологічних операцій [1].

У сучасних посівних агрегатах HORSCH цифрові системи моніторингу забезпечують контроль основних параметрів роботи висівної секції в режимі реального часу. До таких параметрів належать норма висіву, швидкість руху агрегату, рівномірність розподілу насіння, притискне зусилля сошників, глибина загортання та якість контакту насіння з ґрунтом. Інформація з датчиків передається до центрального електронного блока управління та відображається на цифровому терміналі оператора [2].

Особливого значення набуває використання електронних систем контролю проходження насіння через насіннєпровід. Оптичні або індуктивні датчики дозволяють фіксувати рух кожної насінини та оперативно виявляти пропуски, двійники або забивання висівних апаратів. У разі виникнення відхилень система автоматично подає попереджувальний сигнал оператору, що дозволяє мінімізувати втрати врожайності та підвищити якість виконання польових робіт [3].

Важливим елементом цифровізації посівних агрегатів HORSCH є інтеграція систем автоматичного регулювання притискного зусилля сошників типу AutoForce [4]. Дана технологія забезпечує автоматичну зміну навантаження на сошникову групу залежно від щільності ґрунту, вологості та рельєфу поля. Це дозволяє підтримувати стабільну глибину висіву навіть за складних польових умов і сприяє формуванню рівномірних сходів сільськогосподарських культур.

Наглядним прикладом ефективності цифрових систем є використання GPS-навігації та телеметрії в роботі посівних агрегатів. Поєднання навігаційних технологій із програмним забезпеченням дозволяє створювати карти висіву, контролювати перекриття та здійснювати диференційований висів насіння (рис.1) залежно від агрохімічних показників поля. Завдяки цьому зменшуються



Рисунок 1. Диференційований висів насіння кукурудзи

витрати посівного матеріалу, підвищується продуктивність техніки та оптимізується використання паливно-енергетичних ресурсів.

У сучасних умовах аграрного виробництва України впровадження цифрових систем моніторингу є особливо актуальним через необхідність підвищення ефективності виробництва та адаптації агротехнологій до умов зміни клімату й нестабільної економічної ситуації. Значна частина аграрних підприємств активно впроваджує системи точного землеробства, що дозволяє покращити контроль технологічних операцій та підвищити конкурентоспроможність аграрного сектору [5].

Разом із перевагами використання цифрових систем моніторингу існують певні проблеми, серед яких висока вартість обладнання, потреба у кваліфікованому сервісному обслуговуванні та залежність від стабільності GPS-сигналу й електронних систем. Особливо актуальними ці питання є в умовах воєнного стану в Україні, коли можливі перебої навігаційного сигналу та труднощі з технічним забезпеченням високотехнологічної техніки.

Отже, інтеграція цифрових систем моніторингу в роботу посівних агрегатів HORSCH є важливим напрямом розвитку сучасного аграрного машинобудування та технологій точного землеробства. Комплексне поєднання електронного контролю, автоматизованого керування, GPS-навігації та цифрових платформ моніторингу забезпечує підвищення точності висіву, ефективності використання ресурсів та створює передумови для подальшої цифрової трансформації агропромислового комплексу України.

Список використаних джерел:

1. Сидоренко В. М. Цифровізація аграрного сектору та технології точного землеробства. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 28–36.
2. *HORSCH Maestro and Precision Farming Technologies*. HORSCH Maschinen GmbH. Schwandorf, 2024. URL: <https://www.horsch.com>.

3.Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Системи електронного контролю висіву в сучасних посівних агрегатах. *Вісник агроінженерії*. 2024. № 2. С. 21–29.

4.*HORSCH AutoForce and Smart Seeding Solutions*. HORSCH. 2024. URL: <https://www.horsch.com/en/products/seeding-technology>.

5.Курсов С. В. Використання GPS-навігації та цифрових платформ у технологіях точного землеробства. *Інженерія природокористування*. 2023. № 1(25). С. 55–62.

Кея О. О.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра
e-mail: oleksandr.keia@st.pdau.edu.ua

Заславець В. О.,

здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії
e-mail: vladyslav.zaslavets@pdau.edu.ua

Левченко Ю.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: yuliia.levchenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЗНОСОСТІЙКОСТІ МОЛОТКІВ РОТОРНИХ ДРОБАРОК

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва особливого значення набуває підвищення ефективності та надійності подрібнювального обладнання. Однією з ключових проблем експлуатації дробарок є інтенсивне зношування робочих органів, зокрема молотків, що безпосередньо впливає на якість подрібнення, енерговитрати та продуктивність машин.

Аналіз експлуатаційних даних показує, що ресурс роботи молотків є обмеженим і може становити лише 72–300 годин, що обумовлює необхідність частого технічного обслуговування та заміни елементів. Основним механізмом руйнування є абразивний знос, викликаний дією мінеральних домішок і твердих частинок у зерновій масі.

Сучасні підходи до підвищення зносостійкості молотків базуються на комплексному врахуванні конструктивних, технологічних та матеріалознавчих факторів. До основних напрямів належать:

- застосування зносостійких матеріалів із підвищеною твердістю та ударною в'язкістю;
- локальне зміцнення робочих поверхонь молотків (наплавлення, термообробка, покриття);
- оптимізація геометрії молотків для зменшення концентрації напружень і рівномірного зношування;

- раціональний вибір режимів роботи дробарки (швидкість обертання, навантаження);
- забезпечення попереднього очищення зернової сировини від абразивних домішок.

Найбільш перспективними напрямками підвищення зносостійкості молотків роторних дробарок є використання сучасних зносостійких матеріалів (високохромистих сплавів, композитів з карбідами) та локальне зміцнення робочих поверхонь із застосуванням наплавлення, плазмового напилення та лазерних технологій. Комплексне поєднання цих підходів дозволяє значно підвищити ресурс роботи робочих органів і стабільність технологічного процесу.

Підвищення довговічності молотків у першу чергу залежить від правильно підбраного матеріалу. Як видно з твого дослідження, саме абразивний знос є основним фактором руйнування робочих поверхонь, тому матеріал має поєднувати: високу твердість (для опору абразиву); ударну в'язкість (щоб не тріскались при ударах).

У сучасних умовах підвищення зносостійкості робочих органів роторних зернодробарок значна увага приділяється вибору матеріалів, здатних ефективно працювати в умовах інтенсивного абразивного та ударного навантаження. Найбільш поширеними є леговані зносостійкі сталі, зокрема 65Г, 60С2А, а також 40Х і 30ХГСА. Ці матеріали характеризуються оптимальним співвідношенням вартості та ресурсу експлуатації, а також можливістю проведення термічної обробки для підвищення їх механічних властивостей. Водночас їх зносостійкість може бути недостатньою при роботі в умовах підвищеної абразивності зернової маси.

Альтернативою є використання високомарганцевистих сталей типу Hadfield, які відзначаються здатністю до наклепу, тобто самозміцнення поверхневого шару під дією ударних навантажень. Такі матеріали добре працюють в умовах значних динамічних впливів, проте їх ефективність знижується при переважанні дрібного абразивного зносу, характерного для зернових матеріалів.

Перспективним напрямом є застосування високохромистих чавунів із вмістом хрому 12–28 %, які забезпечують високу твердість (до HRC 55–65) та відмінну стійкість до абразивного зносу. Такі матеріали особливо ефективні при роботі з матеріалами, що містять значну кількість твердих домішок. Разом з тим їх суттєвим недоліком є підвищена крихкість, що може призводити до утворення сколів і обмежує сферу їх застосування в умовах ударних навантажень.

Сучасною тенденцією є використання композиційних матеріалів, які поєднують металеву основу з твердими карбідними фазами, зокрема карбідами вольфраму або хрому. Такі матеріали характеризуються значно підвищеною зносостійкістю та можуть забезпечувати збільшення ресурсу робочих органів у 2–5 разів. Водночас їх застосування обмежується високою вартістю, що потребує економічного обґрунтування доцільності використання.

Окрему групу становлять сталі, оброблені методами борування або нітрування, у результаті чого формується надтвердий поверхневий шар із

високою стійкістю до абразивного зносу. Такі технології дозволяють значно підвищити довговічність робочих органів без зміни основного матеріалу, проте відзначаються складністю реалізації та підвищеними технологічними вимогами.

Отже, вибір матеріалу для робочих органів роторних зернодробарок повинен здійснюватися з урахуванням умов експлуатації, характеру навантажень і економічної доцільності. Найбільш ефективним є комплексний підхід, що передбачає поєднання оптимального матеріалу з відповідною технологією його обробки, що дозволяє забезпечити необхідний рівень надійності та довговічності обладнання.

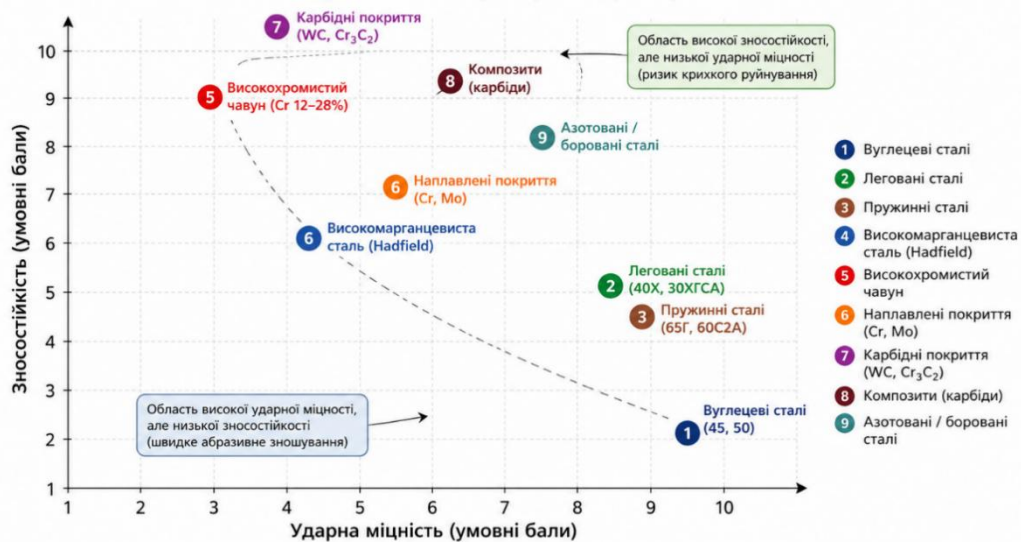


Рисунок 1 – Залежність між зносостійкістю та ударною міцністю матеріалів

Аналіз залежності між зносостійкістю та ударною міцністю матеріалів показує наявність компромісного співвідношення між цими характеристиками. Підвищення твердості матеріалу забезпечує кращу стійкість до абразивного зношування, однак супроводжується зниженням ударної в'язкості та підвищенням крихкості.

У зв'язку з цим найбільш ефективним підходом є використання комбінованих рішень, зокрема застосування в'язкої основи (леговані сталі) з локальним зміцненням робочих поверхонь (наплавлення, карбідні покриття). Це дозволяє одночасно забезпечити достатню ударну міцність і високу зносостійкість молотків роторних дробарок.

Встановлено, що навіть незначні зміни геометричних параметрів молотків у процесі експлуатації призводять до порушення стабільності роботи обладнання, зниження якості подрібнення та збільшення частки небажаних фракцій.

Перспективним напрямом є також використання принципів, реалізованих у роторних дробарках, де руйнування матеріалу здійснюється за рахунок зрізу та сколювання, що дозволяє зменшити кількість ударних навантажень і, відповідно, інтенсивність зношування робочих органів.

Отже, підвищення зносостійкості молотків роторних дробарок можливе лише за умови комплексного підходу, який включає вдосконалення конструкції,

застосування сучасних матеріалів і оптимізацію режимів експлуатації. Реалізація зазначених заходів дозволяє збільшити ресурс роботи обладнання, знизити витрати на обслуговування та підвищити ефективність процесу подрібнення.

Список використаних джерел

1. Тарасенко Є. Г. Теоретичні основи процесів подрібнення сипких матеріалів. Київ : НУБіП України, 2020. 243 с.
2. Технічний сервіс машин в агропромисловому комплексі / за ред. П. І. Савченка. Київ : Аграрна освіта, 2019. 340 с.
3. Хоменко В. С. Технології зміцнення та відновлення деталей машин. Дніпро : Нова ідея, 2017. 218 с.
4. Шевченко О. П. Вібраційна діагностика машин та обладнання : навчальний посібник. Харків : Факт, 2021. 275 с.



СЕКЦІЯ 4

Автомобільний транспорт: інновації, безпека та екологічність

Шепеленко І.В.,

докт. техн. наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин,
e-mail: kntucpfzk@gmail.com

Красота М.В.,

канд. техн. наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин,
e-mail: krasotamv@ukr.net

*Центральноукраїнський національний технічний університет,
м. Кропивницький, Україна*

ОСОБЛИВОСТІ ОБСЛУГОВУВАННЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ ПІДПРИЄМСТВАМИ АВТОСЕРВІСУ

Глобальні світові виклики, що пов'язані з дефіцитом постачань нафти, підвищення рівня забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами відпрацьованих газів двигунами внутрішнього згоряння (ДВЗ) та ін. ще раз підкреслюють актуальність електромобілів та можливості домінування цього виду транспорту серед інших у майбутньому.

Кількість електромобілів у світі з кожним роком безупинно зростає. За даними *Global EV Outlook [1]* продажі електромобілів у 2025 році зросли більш ніж на 20% порівняно з минулим роком, сягнувши 21 млн. одиниць (рис. 1). При цьому кожен четвертий проданий автомобіль – електричний.

Прогнози щодо майбутнього ринків електромобілів у рамках сценарію заявленої політики STEPS [2] свідчать, що до 2030 р. парк електромобілів усіх типів, за винятком автомобілів із ДВЗ, сягне 250 млн. од. До того часу понад 10 % світового автобусного парку становитимуть електробуси. Вантажні автомобілі залишаються видом транспорту, що електрифікується найповільніше, але завдяки стандартам викидів для великовантажних автомобілів ситуація також дещо зміниться. До 2030 року 3% усього вантажного парку будуть електричними.

В Україні у 2025 р. зареєстровано понад 110 тис. електромобілів [3], причому щорічний приріст становить 45%. Отже світові тренди щодо прогнозу зростання кількості електромобілів цілком підходять до України.

Зростання кількості електромобілів ставить перед автосервісними підприємствами нові виклики. Оскільки конструкція електромобілів принципово відрізняється від традиційних автомобілів з ДВЗ, можна стверджувати, що вітчизняні підприємства технічного сервісу не достатньо підготовлені до обслуговування електромобілів. Зокрема, такі підприємства повинні забезпечити наявність спеціалізованого обладнання (BMS-сканери, мегаомметри та ін.), кваліфікованого персоналу.

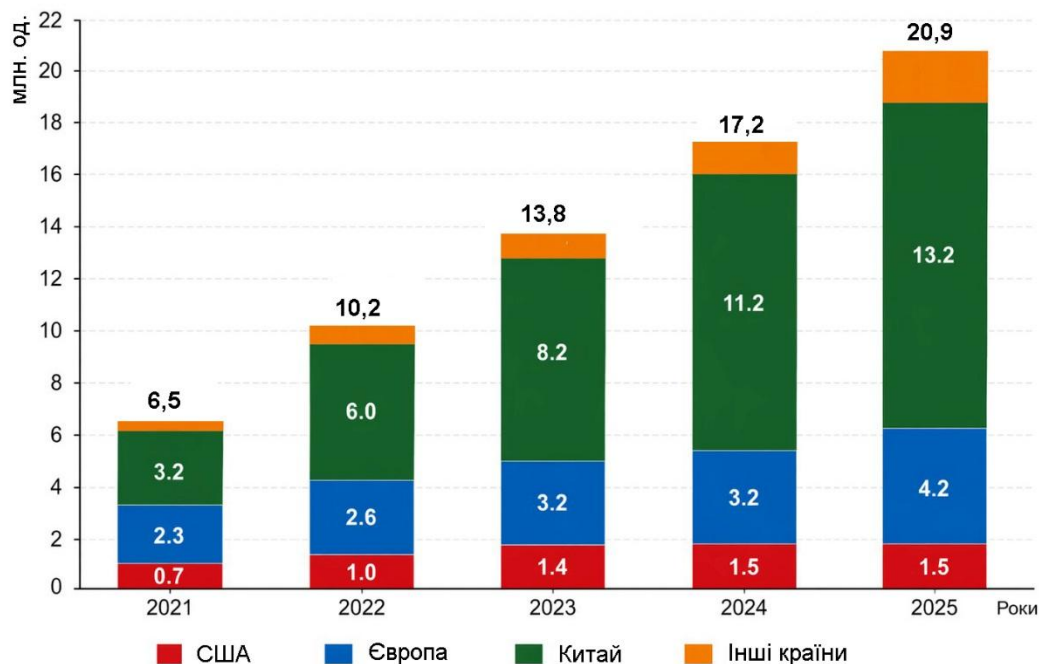


Рис. 1. Кількість проданих електромобілів у період 2021-2025 рр. по країнам світу [1]

Серед важливих особливостей технічного сервісу електромобілів слід відзначити наступні [4].

Обслуговування тягової батареї. При цьому головними параметрами контролю є: залишковий ресурс батареї, поточний рівень заряду, температурний режим, герметичність батареї та стан роз'ємів.

Обслуговування гальмівної системи. Через застосування рекуперативного гальмування ресурс гальмівних колодок та дисків у електромобілів значно вищий, ніж автомобілів з ДВЗ, але заміну гальмівної рідини слід виконувати регулярно згідно встановлених термінів.

Програмне забезпечення та бортова діагностика. Для електромобілів програмне забезпечення є вкрай важливим компонентом надійності.

Трудомісткість ТО електромобілів значно нижча ніж у автомобілів з ДВЗ через відсутність необхідності заміни моторної оливи та оливного фільтра, обслуговування газорозподільного механізму, заміни свічок запалювання та ін.

Для ефективної організації обслуговування електромобілів підприємствам автосервісу необхідне інвестування у діагностичне обладнання та забезпечення навчання обслуговуючого персоналу.

Список використаних джерел

1. Technology: Electric vehicles: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2026/technology-electric-vehicles> (дата звернення: 27.04.2026).

2. Outlook for electric mobility: веб-сайт. URL: <https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2025/outlook-for-electric-mobility> (дата звернення: 27.04.2026).

3. Названо регіони-лідери за кількістю електромобілів в Україні: які моделі найпопулярніші: веб-сайт. URL: <https://tsn.ua/ukrayina/nazvano-rehiony-lidery-za-kilkistiu-elektromobiliv-v-ukrayini-iaki-modeli-naypopuliarnishi-3007892.html> (дата звернення: 27.04.2026).

4. Кищун В.А. Що не так з електромобілями? Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту: зб. матеріалів міжн. наук. -техн. інтернет-конференції, 16-18 квітн. 2024 р. Вінниця: ВНТУ, 2024. С.141-144.

Лавренко В. В.

старший викладач кафедри агроінженерії та
автомобільного транспорту

Соколовський С. Ю.

здобувач вищої освіти ступеня бакалавр,
*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ВПЛИВ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ АВТОМОБІЛЯ НА БЕЗПЕКУ РУХУ

Автомобільний транспорт елементом комунікації та сполучення для суспільства, забезпечуючи пасажиро- та вантажоперевезення, а також відіграє важливу роль у розвитку економіки та інфраструктури. Кількість транспорту на дорогах постійно зростає, а разом з цим і кількість дорожньо-транспортних пригод. Один з факторів, що впливає на безпеку дорожнього руху, є технічний стан автомобіля. Навіть при високому професійному рівні водія - несправність окремих систем автомобіля може призвести до аварійної ситуації, а в більшості випадків до ДТП. Підтримання автомобіля у технічно справному стані та проведенні регламентного обслуговування - є умовою безпечної експлуатації.

Технічний стан автомобіля характеризується справністю всіх його систем, механізмів та вузлів, які забезпечують безпечний рух. Найважливішими елементами, що впливають на безпеку є гальмівна система, рульове керування, шини, освітлювальні прилади, підвіска та електронні системи безпеки [1].

Відповідно до Правил дорожнього руху України, експлуатація транспортних засобів за певних технічних несправностей забороняється, оскільки це створює загрозу не тільки для водія, пасажирів але й для інших учасників дорожнього руху.

Однією систем автомобіля що впливає на безпеку є гальмівна система. Її завданням - своєчасне зменшення швидкості аж до повна зупинка транспортного засобу. Несправності гальмівної системи, зокрема такі як зношення гальмівних колодок, витікання гальмівної рідини або несправність антиблокувальної системи ABS не тільки значно збільшують гальмівний шлях автомобіля а й в більшості випадків призводять до ДТП (нерідко з летальними наслідками). У

критичних ситуаціях за потреби екстреного гальмування це може призвести до зіткнення або втрати контролю над транспортним засобом. Особливо небезпечними подібні несправності є під час руху слизькою дорогою або в умовах інтенсивного міського руху.

Важливий вплив на безпеку дорожнього руху має стан шин автомобіля. Шини забезпечують зчеплення транспортного засобу з дорожнім покриттям повинні мати достатню залишкову висоту протектора. Недостатня залишкова глибина протектора, невідповідний тиск у шинах або використання шин з різним малюнком протектору чи використання діагональних і радіальних шин на одній вісі чи які не відповідають сезону, можуть стати причиною заносу чи втрати керуваності. Крім цього, нерівномірне зношення чи розбалансування шин негативно впливає на стійкість автомобіля та ефективність гальмування.

Система рульове керування та ходова частина автомобіля - від технічного стану цих систем залежить стабільність в керуванні транспортним засобом і його стійкість під час руху. Зношені амортизатори, що мають підтікання, люфт в рульовому механізмі чи непрацюючий підсилювач керма та несправність елементів підвіски можуть спричинити втрату контролю над автомобілем, особливо під час руху на високій швидкості чи виконання різких маневрів, виїзд за межі проїзної частини і як наслідок перекидання. Несправності підвіски також збільшують навантаження на інші вузли автомобіля, що призводить до їх передчасного зношення.

Особливу роль у забезпеченні безпеки руху відіграють світлові прилади автомобіля, що дають можливість своєчасно виявляти перешкоду та виділяти себе на дорозі особливо за несприятливих погодних умовах чи в темний час доби. Справні освітлювальні прилади (відповідне регулювання та належність транспортному засобу), габаритні вогні, покажчики повороту та сигнали про гальмування забезпечують видимість транспортного засобу та дозволяють іншим учасникам дорожнього руху своєчасно реагувати на дії водія. Несправне освітлення суттєво підвищує ризик виникнення ДТП у темний час доби або за несприятливих погодних умов.

Сучасні автомобілі обладнуються електронними системами активної та пасивної безпеки до яких належать - ABS, ESP, а також система стабілізації руху, системи контролю та допомоги під час екстреного гальмування. Сучасні технології допомагають водієві уникнути небезпечних ситуацій та підвищують рівень безпеки під час руху, ефективність роботи таких систем можлива за умови справності та регулярного обслуговування згідно рекомендацій виробника.

Підтримання автомобіля у належному технічному стані це його регулярне технічне обслуговування, що включає перевірку основних систем автомобіля, заміну технічних рідин, діагностику електронних систем, контроль стану систем та автомобіля вцілому. Своєчасне виявлення та усунення несправностей дозволяє уникнути серйозних поломок, дороговатісного ремонту і підвищує рівень безпеки дорожнього руху [1, 2].

Крім цього, водій повинен щоденно контролювати технічний стан транспортного засобу. Основною причиною виникнення технічних

несправностей є несвоєчасний ремонт або використання неякісних запасних частин, бажання зекономити на обслуговуванні автомобіля що часто призводить до використання дешевих деталей сумнівної якості, які не відповідають встановленим стандартам якості, це може негативно впливати на роботу систем автомобіля та створити небезпеку під час експлуатації автомобіля [3].

Технічний стан автомобіля впливає на безпеку дорожнього руху. Технічно справний транспортний засіб забезпечує плавний рух, ефективне гальмування та надійне та безпечне керування автомобілем при різних дорожніх умовах та обстановці. Щоденний огляд, регламентне технічне обслуговування, дотримання вимог Правил дорожнього руху та відповідальне ставлення водія до експлуатації автомобіля - важлива умова зменшення аварійності на дорогах та підвищення рівня безпеки всіх учасників руху.

Список використаних джерел

1. Katrin Auto — Вплив технічного стану автомобіля на безпеку керування: <https://katrin-auto.kiev.ua/ua/statti/260-vplyv-tekhnichnoho-stanu-avtomobilia-na-bezpeku-keruvannia-shcho-povynen-znaty-kozhen-vodii>.
2. Green Way - Розділ 31 ПДР України: <https://green-way.com.ua/uk/dovidniki/pdr/rozdil-31>.
3. Безпека дорожнього руху : навчальний посібник / А. А. Кашканов, О. Г. Грисюк, І. І. Гуменюк. – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 90 с.

Дубовик Д.А.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
Ксюковський О.В.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
*Поліський національний університет,
м. Житомир, Україна*

АНАЛІЗ ТИПОВИХ ВІДМОВ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ РЕАБІЛІТАЦІЇ

Електромобільні платформи особливо малого класу ідеально підходять для виконання завдань по допомозі людям, що мають фізичні обмеження, також їх можна застосовувати для переміщення в межах міського середовища та коротких поїздок по території підприємства, виробничих приміщень, вони дадуть змогу перемішати невеликі вантажі для яких потрібно затратити великі фізичні зусилля людині. Дослідження індивідуальних транспортних засобів реабілітації (ІТЗР), стратегія технічного ремонту, досвід експлуатації, типові відмови та їх модернізація в Житомирській області в період з 2024 по 2025 роки. Побудова дослідних зразків електромобільної платформи особливо малого класу. Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити наступні завдання: ознайомитися з подібними конструкціями, які вже використовуються; встановити ефективність використання дослідних зразків.

Мета роботи – підвищення надійності та прогнозування ресурсу функціональних вузлів (ІТЗР). Систематизація видів відмов (ІТЗР) та встановлення найбільш критичних вузлів конструкції для подальшої оптимізації їх технічного обслуговування

Методика експерименту

Всього досліджено – 327 пересувних індивідуальних транспортних засобів реабілітації (ІТЗР). Досліджено структура парку та встановлено типи досліджуваних (ІТЗР) за два роки експлуатації, а саме: Тип I - 291 од. техніки (W4028-CRUISER II); Тип II - 13 од. техніки (1.610 ICHAIR MC 1 LIGHT); Тип III - 23 од. техніки (9.500 CLOU). Визначено кількість відмов (гарантійних та післягарантійних) відповідно типу досліджуваних (ІТЗР)

Проведений аналіз структури відмов обладнання у гарантійний та післягарантійний періоди дозволяє виявити системні закономірності деградації технічних вузлів та сформулювати чітке уявлення про еволюцію надійності об'єкта експлуатації. Виявлено різке зростання відмов після гарантії:

- Ходова частина: знос та руйнування підшипників, деформація вилок передніх коліс, проколи та знос шин.

- Енергосистема: втрата ємності АКБ, деградація комірок (для Li-ion), окислення контактів.

- Електропривод та керування: знос щіток двигунів, перегрів обмоток, збої контролерів (джойстиків).

- Несуча система: втомні тріщини в зварних швах рами, поломки механізмів складання.

Отримані результати підтверджують наявність чітко вираженого життєвого циклу обладнання з переходом від стабільної експлуатації у гарантійний період до фази інтенсивного фізичного зносу після його завершення. Основними джерелами технічного ризику виступають елементи енергетичної та механічної підсистем (АКБ, підшипники, електродвигуни, рульові механізми), які формують ядро відмов. Після досягнення критичного рівня напрацювання подальша експлуатація супроводжується непропорційним зростанням витрат на ремонт, що обґрунтовує необхідність переходу до стратегії превентивної заміни або модернізації обладнання.

Досліджено чіткий перехід від випадкових відмов до системного зносу ключових вузлів, що підтверджує необхідність зміни стратегії експлуатації.

Висновок:

1. Проведений аналіз свідчить, що більшість відмов (понад 60%) мають експлуатаційно-конструкційний характер і спричинені невідповідністю розрахункових коефіцієнтів запасу реальним динамічним навантаженням. Це підтверджує необхідність розробки методів прогнозування ресурсу, які б враховували індивідуальний профіль експлуатації.

2. Результати аналізу відмов ІТЗР стануть основою для розробки методики прогнозування сервісного обслуговування за фактичним станом техніки.

Заєць М. Л.,
канд. техн. наук, доцент,
Макарчук О. О.,
здобувач вищої освіти
Поліський національний університет,
м. Житомир, Україна

МЕХАНІЗМИ РУЙНУВАННЯ ОБГОРТКИ КУКУРУДЗИ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ПРИСТРОЇВ ОЧИЩЕННЯ КАЧАНІВ КУКУРУДЗИ

Дослідження спрямоване на підвищення ефективності очищення качанів за мінімальних енергетичних витрат і зменшення їх пошкодження. Діапазон міцнісних характеристик на розтяг визначали шляхом поєднання механічних випробувань і статистичного аналізу, а також побудови моделей залежності від вологості та товщини обгортки.

Експериментально встановлено, що міцність листкової пластинки залежить від орієнтації навантаження відносно поздовжньої жилки: при паралельному напрямку вона вища, ніж при перпендикулярному. Також міцність змінюється залежно від кута прикладання сили ($0^\circ > 90^\circ > 180^\circ$). Зі збільшенням кута зростає ймовірність руйнування біля основи кріплення, що сприяє повнішому очищенню качана.

Механізми руйнування листових структур пояснено з фізіологічної та морфологічної точок зору. Отримані результати можуть бути використані для проектування та оптимізації пристроїв для очищення качанів кукурудзи.

Механічні властивості листків є важливими для розуміння процесів їх відокремлення та проектування очисних машин [1,2]. Схема очищення качанів передбачає роботу двох обертових очисних вальців, нахилених під кутом.

Качан рухається вниз під дією ваги та подавального пристрою, а обгортка зазнає дії сил тертя, спрямованих угору. Одночасно вальці створюють обертальний момент, що змушує качан обертатися та сприяє натягу обгортки. Коли зусилля перевищує міцність обгортки, відбувається її відрив.

Таким чином, дослідження механічних властивостей обгортки є важливим для підвищення ефективності та зниження втрат під час очищення качанів кукурудзи.

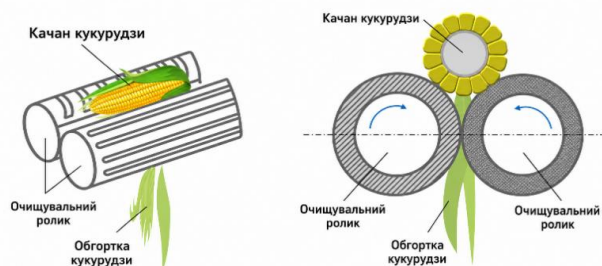


Рис. 1. Схематична діаграма механічного очищення качанів кукурудзи

У низці досліджень було розглянуто механічні властивості листків різних рослин. Дослідники вважають, що листки рослин зазвичай є анізотропними в різних напрямках, тому їхні механічні властивості залежать від місця прикладання навантаження та його напрямку [3]. Кохуата та ін. [4] встановили, що механічна міцність листка залежить від орієнтації жилок, причому міцність є більшою, коли напрямок жилок паралельний напрямку випробування. Аналогічний результат для листя отримав Тоолє [5].

Випробування на розтяг є найбільш поширеним та ефективним методом дослідження міцнісних властивостей матеріалів при розтягу [5]. Процес підготовки зразків у даному дослідженні був таким: кожну листову пластинку розрізали на два зразки для проведення випробувань на розтяг. Прямокутний зразок шириною 30 мм і довжиною 120 мм вирізали вздовж напрямку поздовжньої жилки з центральної частини верхньої листової пластинки для поздовжнього випробування на розтяг (ЛТТ). Інший прямокутний зразок шириною 30 мм і довжиною 90 мм вирізали перпендикулярно до напрямку поздовжньої жилки з центральної частини решти листової пластинки для поперечного випробування на розтяг (ТТТ).

Для випробування листків на розтяг від качана відокремлювали плодоніжку разом з обгорткою. Довжину з'єднання між листовою піхвою та плодоніжкою підтримували на рівні 10 мм, а зайві обгортки видаляли. Для кожної групи випробувань готували по 10 зразків, які маркували, герметично пакували та зберігали за температури 4 °С для збереження вологості.

Випробування на розтяг проводили на універсальній випробувальній машині. Недійсними вважали випробування, під час яких зразок вислизав із затискача або руйнувався в зоні затиску. Кожне випробування повторювали 10 разів із подальшим визначенням середнього значення та стандартного відхилення. За кривою «навантаження–переміщення» визначали силу руйнування (F_b), границю міцності на розтяг (σ_t) та енергію руйнування (E_g).



Рис.2. Установка для випробування на розтяг

Сила руйнування — це максимальне зусилля, яке витримує зразок у момент його руйнування в умовах розтягу. Міцність на розтяг визначається як сила руйнування, віднесена до одиниці площі поперечного перерізу зразка. При цьому

добуток середньої товщини (листявої пластинки) та ширини зразка використовували як оцінену початкову площу поперечного перерізу зразка.

Міцність на розтяг розраховували за наведеним нижче рівнянням:

$$\sigma_t = \frac{F_b}{\omega t}, \quad (1)$$

де σ_t - міцність на розтяг (МПа), F_b - сила руйнування (Н), ω - ширина зразка (мм), t - середня товщина зразка (мм).

Енергія руйнування необхідна для руйнування матеріалу є внутрішньою енергією, що виникає внаслідок деформації під дією зовнішнього навантаження. Енергія руйнування визначається як площа під кривою «навантаження–переміщення» між початком випробування та точкою максимального навантаження. Математично це можна виразити таким чином [6]:

$$E_g = \sum_{n=0}^{n=i-1} \left[\left(\frac{F_{n+1} + F_n}{2} \right) \cdot (D_{n+1} - D_n) \right], \quad (2)$$

де E_g - це енергія руйнування (Дж), F_n і F_{n+1} - значення розтягуювального навантаження (Н), D_n і D_{n+1} - значення видовження зразка (мм).

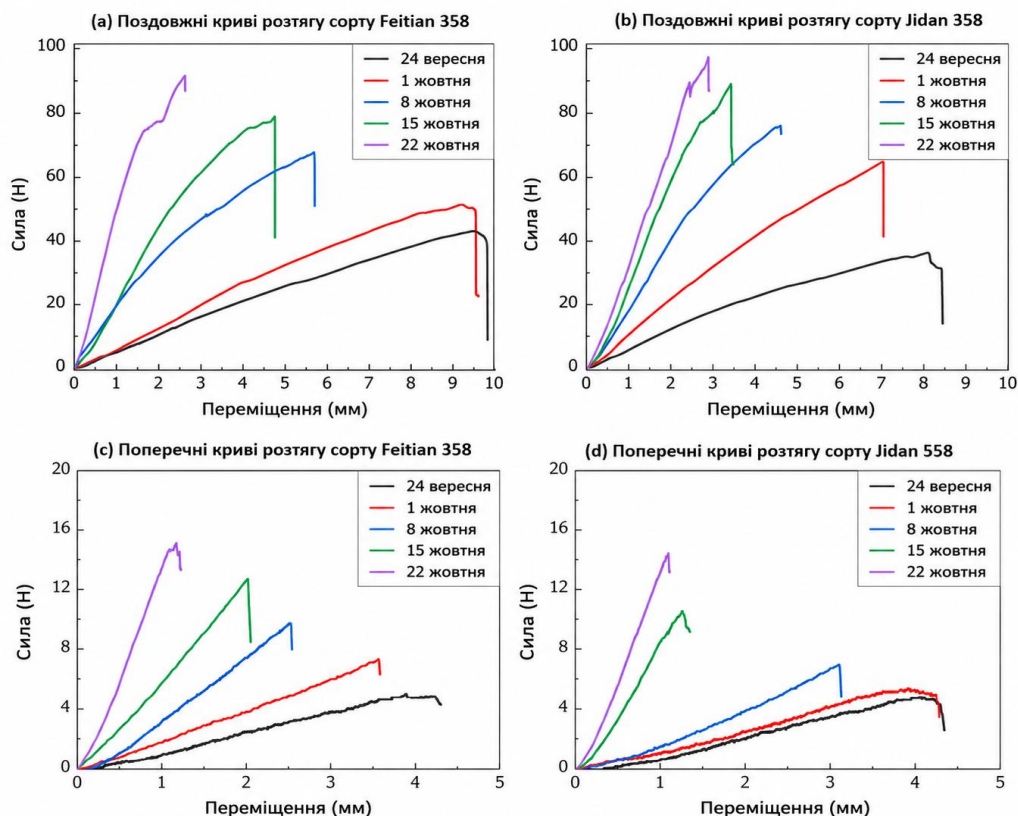


Рис. 3. Криві «сила–переміщення» випробувань на розтяг третьої листявої пластинки протягом п'яти дат збирання врожаю у 2025 році:

- (а) поздовжні криві розтягу сорту Feitian 358; (б) поздовжні криві розтягу сорту Jidan 558; (в) поперечні криві розтягу сорту Feitian 358; (г) поперечні криві розтягу сорту Jidan 558

Типові криві «сила–переміщення» для випробувань на розтяг листової пластинки наведені на рис 3: на 3а та 3б показано поздовжній розтяг, на 3с та 3д – поперечний.

Попри значні коливання видовження між датами збирання для обох сортів кукурудзи, загальна тенденція залишалася сталою. Максимальне видовження зменшувалося із затримкою збирання, тоді як сила руйнування зростала. Це пов'язано зі зниженням вологості обгортки, що зменшує в'язкість волокон і, відповідно, їх здатність до деформації при розтягу.

Висновки. Орієнтація жилок суттєво впливала на міцність листових пластинок. При поздовжньому розтязі (ЛТТ) тріщина проходила через поздовжні жилки, тоді як при поперечному (ТТТ) переважно в мезофілі між ними. Міцність у ЛТТ була приблизно у 8,95 рази вищою, ніж у ТТТ, що свідчить про більшу схильність до поперечного розриву під час механічного очищення.

Міцнісні властивості листової обгортки зменшувалися зі збільшенням кута прикладання сили відносно природного напрямку росту. Це дозволяє підвищити ефективність очищення, оскільки більший кут знижує енерговитрати та сприяє руйнуванню обгортки біля її основи, зменшуючи залишки на качані.

Отримані результати адекватно відображають властивості матеріалу в реальних умовах збирання.

Список використанх джерел

1. Magalhães, P.S.G.; Braunbeck, O.A.; Pagnano, N.B. Resistência à compressão e remoção de folhas da cana-de-açúcar visando àcolheita mecânica. Eng. Agrícola 2004, 24, 177–184. [In English]
2. Read, J.; Sanson, G.D. Characterizing sclerophylly: The mechanical properties of a diverse range of leaf types. New Phytol. 2003, 160, 81–99. [In English]
3. Liu, J.J.; Ye, W.; Zhang, Z.H.; Yu, Z.L.; Ding, H.Y.; Zhang, C.; Liu, S. Vein distribution on the deformation behavior and fracture mechanisms of typical plant leaves by quasi in situ tensile test under a digital microscope. Appl. Bionics Biomech. 2020, 2020, 8792143. [In English]
4. Kohyama, K.; Takada, A.; Sakurai, N.; Hayakawa, F.; Yoshiaki, H. Tensile test of cabbage leaves for quality evaluation of shredded cabbage. Food Sci. Technol. Res. 2008, 14, 337–344. [In English]
5. Toole, G.A.; Parker, M.L.; Smith, A.C.; Waldron, K.W. Mechanical properties of lettuce. J. Mater. Sci. 2000, 35, 3553–3559. [In English]
6. Xie, F.X.; Song, J.; Huo, H.P.; Hou, X.X. Experiment and mechanical characteristics on bract peeling of corn harvester. J. Agric. Mech. Res. 2018, 40, 129–133.



Хмеленко А. М.,
здобувач вищої освіти ступеня доктора філософії,
e-mail: andrii.khmelenko@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ МОБІЛЬНОЇ УСТАНОВКИ БАГАТОСТУПЕНЕВОГО ОЧИЩЕННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ

Актуальність регенерації відпрацьованих моторних оливо (ВМО) в агропромисловому комплексі зумовлена високою економічною ефективністю: вартість відновленого продукту на 40–70% нижча за ціну нового [1, с. 20], а вихід якісної оливи з відходів у 6–8 разів перевищує показники переробки сирової нафти [2, с. 181; 3, с.71]. Впровадження систем очищення дозволяє у 1,5–2 рази подовжити міжремонтні терміни роботи двигунів та знизити знос деталей, що є критично важливим для дизельної техніки, яка працює в умовах високої запиленості та перемінних навантажень. З екологічного погляду рециклінг мінімізує потрапляння канцерогенів і важких металів у ґрунти та води, запобігаючи деградації угідь, на які припадає 23% загального обсягу ВМО в Україні [4]. Через віддаленість господарств пріоритетним рішенням є впровадження малогабаритних мобільних установок, що дозволяють трансформувати небезпечні відходи у цінний ресурс безпосередньо на місці експлуатації техніки.

Метою роботи є обґрунтування конструкції та технологічної схеми мобільної установки очищення відпрацьованих моторних оливо.

Наукова новизна полягає у поєднанні термомагнітної, ультразвукової та вакуум-адсорбційної обробки в єдиній мобільній установці.

Для досягнення глибокого ступеня очищення моторних оливо від вологи та продуктів деградації за умови збереження функціональних присадок, обґрунтовано застосування багатоступеневої системи послідовно з'єднаних модулів. Запропонована нами у дисертаційному дослідженні на тему «Підвищення ефективності експлуатації сільськогосподарських машин застосуванням мобільних установок очистки моторної оливи» технологічна схема відповідає вимогам мобільності, експлуатаційної надійності та економічної доцільності. Технологічний цикл включає такі послідовні етапи: етап відстоювання; етап магнітного очищення; етап ультразвукового очищення; етап попередньої фільтрації; етап сепарації; етап очищення сорбентом; етап фільтрації тонкого очищення.

Запропонована технологія вирізняється універсальністю, що забезпечує ефективну регенерацію відпрацьованих моторних оливо (ВМО) незалежно від їхньої марки. Конструктивні особливості розробленої мобільної установки (рис. 1) включають наступні функціональні блоки: ємність для первинного відстоювання (1) з краном (2), блок термічної та магнітної обробки (3) з

контролем температури (4), а також камеру ультразвукового впливу (5). Процес очищення завершується послідовним проходженням оливи через фільтр грубої очистки (12), сепаратор (6) із зоною збору шламу (11), адсорбційну колону (7) та фінішний фільтр тонкого очищення (9). Вакуумний насос (10) забезпечує циркуляцію рідини до накопичувача (8).

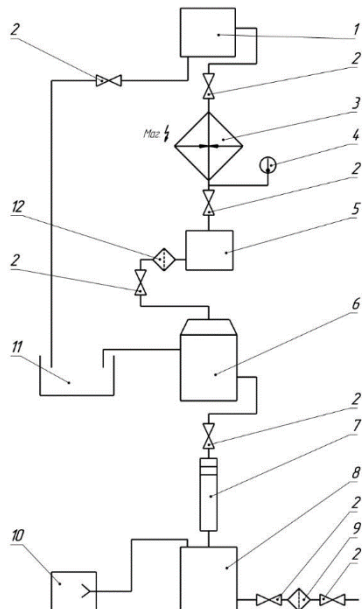


Рис. 1. Схема пропонуваної мобільної установки очищення відпрацьованої моторної оливи

Сировина подається у ємність для відстоювання (1), де під впливом сил гравітації відбувається осадження вільної води та великодисперсних механічних домішок. Осад, що не підлягає подальшій регенерації, разом із залишками оливи зливається у бак для шламу (11). Олива надходить у резервуар (3), оснащений нагрівальними елементами та системою постійних магнітів. Тут робоче середовище підігрівається до температури 60–80°C, що супроводжується активним вилученням феромагнітних продуктів зносу. Температурний контроль здійснюється за допомогою термометра (4). У баку (5) за допомогою ультразвукового генератора та додаткового нагрівача підтримується стабільний тепловий режим протягом 20–30 хв. Під впливом ультразвуку відбувається руйнування стійких високомолекулярних сполук, що дестабілізує зв'язки з небажаними компонентами та полегшує їх подальшу елімінацію. Після проходження крізь фільтр попереднього очищення (12) ВМО подається до сепаратора (6). На цій стадії відбувається розділення середовища на очищену рідину та шлам, який відводиться у резервуар (11). Очищена фракція спрямовується у колону (7), заповнену сорбентом для видалення розчинних продуктів окислення, смол та органічних домішок. Процес прискорюється роботою вакуумного насоса (10), який одночасно забезпечує дегазацію оливи від залишків вологи та легких паливних фракцій. Термопара, інтегрована в систему, дозволяє контролювати стан сорбенту, конструкція якого передбачає можливість реактивації для багаторазового використання. Одержаний продукт надходить до

накопичувача (8), проходячи крізь фільтр тонкого очищення (9), де видаляються мікрочастинки забруднень.

Регулювання потоків робочої рідини забезпечується системою кранів (2), інтегрованих у схему установки для контролю за кожним етапом регенерації.

Конструктивна гнучкість мобільної установки дозволяє реалізувати як повний цикл регенерації, так і окремі його стадії, за умови дотримання встановленої технологічної послідовності. Контроль якості відновленої оливи здійснюється шляхом відбору проб після завершення процесу. Для верифікації результатів нами було проведено поглиблений лабораторний аналіз, проте в експлуатаційних умовах доцільним є застосування методів експрес-діагностики. Це дозволяє мінімізувати простої сільськогосподарської техніки, оптимізувати логістичні витрати та знизити собівартість обслуговування. Моніторинг показників у польових умовах може бути забезпечений портативними аналізаторами, такими як AUTOOL AS503, XC300 або OTO350.

Отже, пропонується мобільна установка завдяки поєднанню термомагнітної обробки, ультразвукової деструкції та вакуум-адсорбційного відновлення забезпечує глибоке очищення відпрацьованої моторної оливи різних марок. При цьому гнучкість технологічного процесу та можливість оперативного контролю якості регенерованого продукту експрес-методами дозволяють мінімізувати простої сільськогосподарської техніки та ефективно трансформувати небезпечні відходи у цінний експлуатаційний ресурс.

Список використаних джерел

1. Зеленько Ю. В., Безовська М. С., Лещинська А. Л. Розробка інноваційних ресурсозберігаючих технологій утилізування нафтовміщуючих відходів. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2013. № 1/2 (9). С. 17–21. URL: <https://media.neliti.com/media/publications/310594-development-of-innovative-resource-savin-b433d6d0.pdf> (дата звернення: 10.02.2026).
2. Уминський С., Макарчук В., Королькова М., Дмитрієва С., Житков С. Гідродинамічне обладнання для регенерації відпрацьованих мастил. *Аграрний вісник Причорномор'я*. 2019. Вип. 95. С. 181-187. DOI: <https://doi.org/10.37000/abbsl.2019.95.26>
3. Оливи. Моторні, турбінні, гідравлічні та трансмісійні: властивості та якість. Підручник / С. Бойченко, А. Пушак, П. Топольницький та ін.; за ред. проф. С. Бойченка. К.: «Центр учбової літератури», 2019. 323 с.
4. Спеціалізована міжнародна конференція «Переробка вторинних ресурсів» (Київ, 14.06.2018 р.) URL: <https://dzi.gov.ua/events/pererobka-vtorinnih-resursiv/> (дата звернення: 25.02.2026).



Yevhenii Hrytsenko

PhD student,

Ievgen Konoplianchenko

Candidate of Technical Sciences., Associate Professor

Head of the Technical Service and Industrial Machinery Engineering Department

*Sumy National Agrarian University**Sumy, Ukraine*

SYNTHESIS OF RATIONAL DESIGN AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR HYDROPONIC GRAIN SPROUTING SYSTEMS

Modern hydroponic grain sprouting systems are complex multicomponent technical complexes that may significantly differ in spatial layout, design of seeding modules, irrigation systems, lighting, microclimate control, automation, and sanitary treatment systems [1, 2]. Under such conditions, the design of a hydroponic installation acquires the characteristics of a multicriteria synthesis problem of a complex technical system in which individual design and technological solutions should be considered as interconnected elements of a unified configuration.

Unlike the traditional approach, in which individual system units are selected independently from one another, modern design requires consideration of structural, functional, and technological relationships between the subsystems of the complex. This is especially important for systems with a high degree of automation and recirculation of technological media, where design solutions directly influence productivity, energy consumption, water consumption, maintenance labor intensity, and sanitary safety.

The purpose of the study is to develop a formalized procedure for the synthesis of rational design and technological solutions for hydroponic grain sprouting systems based on hierarchical decomposition, morphological analysis, graphical representation of solutions, and multicriteria evaluation of alternatives [3, 4,5].

The hydroponic system is proposed to be considered as a multilevel technical system in which the decision-making process is carried out sequentially — from determining the target parameters of the complex to selecting specific technical components. The general structure of the system is represented as a union of functional levels:

$$S = \cup_{i=1}^4 L_i$$

where: L_i – the set of decisions of the i -th functional level;

$i = 1 \dots 4$ is the level number (target, process, subsystem, element);

Within the framework of the study, a four-level hierarchical model of the system was formed, including target, process, subsystem, and element levels. Based on morphological analysis, a morphological synthesis matrix was developed describing alternative implementation options for the main functional subsystems of the complex: spatial layout, seeding modules, irrigation systems, lighting, temperature control, aeration, control systems, and sanitary treatment [3].

The complete configuration of the system is represented as a vector:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_8\}$$

To formalize the synthesis procedure, a decision graph was developed in which vertices correspond to partial or complete system configurations, while edges represent permissible transitions between them. Such an approach allows formalization of the synthesis sequence, reduction of the search space, and elimination of incompatible solutions at early stages of configuration formation [5].

An important element of the proposed procedure is the compatibility matrix, which takes into account structural, technological, and functional constraints between individual solutions. The use of the compatibility matrix makes it possible to form only technically feasible system configurations.

A multicriteria approach was used to evaluate alternative configurations. The integral rationality criterion has the following form:

$$Q(X) = \sum_{k=1}^r w_k q_k^*(X) \rightarrow \max$$

where X – the configuration of the hydroponic system;

k – the number of the evaluation criterion;

r – the total number of criteria;

w_k – the weighting coefficient of the k -th criterion;

$q_k^*(X)$ – the normalized value of the k -th criterion for configuration X .

The following criteria were considered during evaluation: system productivity, capital costs, energy consumption, water consumption, maintenance labor intensity, and sanitary-microbiological risk. Particular attention was paid to water consumption as one of the key efficiency criteria of hydroponic technological systems.

To demonstrate the proposed approach, numerical modeling of three alternative configurations of a hydroponic complex was performed. According to the results of integral evaluation, the high-technology configuration was identified as the most rational, providing the best ratio between productivity, water consumption, energy consumption, and sanitary safety.

Thus, the proposed synthesis procedure makes it possible to move from descriptive comparison of individual types of hydroponic installations to the formalized selection of a rational configuration of a technical system. The practical significance of the work lies in the possibility of using the proposed approach as a basis for developing decision support systems for designing hydroponic complexes with different productivity levels and degrees of automation.

References

1. Al-Karaki G. N., Al-Hashimi M. Green fodder production and water use efficiency of some forage crops under hydroponic conditions. *ISRN Agronomy*. 2012. Vol. 2012. Article 924672. DOI: <https://doi.org/10.5402/2012/924672>.
2. Elmulthum N. A. et al. Water use efficiency and economic evaluation of the hydroponic versus conventional cultivation systems for green fodder production in

Saudi Arabia. Sustainability. 2023. Vol. 15, No. 1. Article 822. DOI: <https://doi.org/10.3390/su15010822>.

3. Hrytsenko Y. V., Konoplianchenko Y. V. Morphological analysis and classification of design and technological solutions of hydroponic grain sprouting systems. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Mechanization and Automation of Production Processes. 2025. No. 4. P. 43–50. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.4.6>.

4. Hrytsenko Y. V., Konoplianchenko Y. V. Mathematical model of multicriteria optimization of design and technological solutions for hydroponic grain germination systems. Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Mechanization and Automation of Production Processes. 2025. No. 5. P. 64–71. DOI: <https://doi.org/10.32782/msnau.2025.5.8>.

5. Tolmachov V. Y. Method of synthesizing the rational architecture of an information system for supporting tests of weapons and military equipment. Modern Information Technologies in the Sphere of Security and Defence. 2025. Vol. 54, No. 3. P. 33–54. DOI: <https://doi.org/10.33099/2311-7249/2025-54-3-33-54>.

Черкасець Я. А.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра

Бурлака О. А.

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри ААТ,

oleksii.burlaka@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м. Полтава, Україна

ЩОДО ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ СУЧАСНОГО СЕРВІСНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

Сучасний розвиток аграрного виробництва характеризується високим рівнем механізації та широким використанням складної сільськогосподарської техніки. Ефективність такої техніки значною мірою залежить не лише від її технічних характеристик, а й від якості сервісного обслуговування. В умовах стислих агротехнічних строків навіть короткочасні простой машин можуть призводити до значних економічних втрат. Відповідно, забезпечення високої технічної готовності сільськогосподарських машин і обладнання стає одним із ключових завдань сучасного технічного сервісу.

У наукових дослідженнях сервісне обслуговування розглядається як важлива складова системи технічної експлуатації машин. Така система забезпечує підтримання їх працездатності, зниження інтенсивності відмов та підвищення ефективності використання технічних ресурсів. Значення сервісу особливо зростає у зв'язку з ускладненням конструкції сучасної техніки, впровадженням електронних систем керування, автоматизації та цифрових технологій контролю роботи машин. За таких умов якість сервісної підтримки

безпосередньо впливає на продуктивність машинно-тракторного парку, економічні показники господарства та рівень експлуатаційних витрат [1].

Аналіз літературних джерел показав, що розвиток наукових підходів до сервісного обслуговування проходив кілька послідовних етапів. На ранньому етапі переважав підхід ремонту після відмови, за якого технічне втручання здійснювалося лише після виникнення несправності. Така система мала реактивний характер і супроводжувалася значними втратами часу та високими витратами на усунення наслідків аварійних відмов [1,2,3].

Подальший розвиток механізації сільського господарства сприяв переходу до системи планово-попереджувального технічного обслуговування. Основою цього підходу стало виконання регламентних операцій через встановлені інтервали часу або напрацювання машини. Застосування планово-попереджувальної системи дозволило зменшити аварійність техніки та підвищити рівень її надійності. При цьому такий підхід не враховував фактичний технічний стан окремих вузлів і агрегатів.

Наступним етапом розвитку сервісних систем стало впровадження обслуговування за технічним станом (*condition-based maintenance*). У межах цього підходу рішення щодо проведення технічного втручання приймаються на основі результатів діагностики, моніторингу параметрів роботи та оцінювання реального стану машини. Значного поширення набули системи контролю вібрації, температури, тиску, мастильних матеріалів та інших експлуатаційних параметрів. Такі системи дозволяють своєчасно виявляти ознаки розвитку несправностей [6,7].

Сучасний етап розвитку сервісного обслуговування пов'язаний із цифровізацією технічного сервісу та впровадженням *predictive maintenance* – прогнозного обслуговування. Його основою є використання телеметрії, автоматизованого збору даних, дистанційної діагностики, цифрових платформ і алгоритмів прогнозування відмов. Завдяки цьому сервісні служби отримують можливість не лише оперативно реагувати на несправності, а й прогнозувати їх виникнення та попереджати критичні відмови ще до їх фактичного прояву.

У сучасних дослідженнях ефективність сервісного обслуговування визначається як комплексна багатофакторна характеристика. Для її оцінювання використовуються технічні, економічні, організаційні та інформаційні показники. До технічних показників належать коефіцієнт технічної готовності, середній час відновлення працездатності, частота відмов і показники надійності. Економічні показники охоплюють витрати на технічне обслуговування, ремонт, запасні частини та втрати від простоїв. Організаційні параметри характеризують швидкість реагування сервісної служби, доступність сервісного персоналу та ефективність логістики. Інформаційна складова включає рівень цифрового моніторингу, повноту даних про технічний стан машин і можливість дистанційної підтримки.

Разом із тим аналіз наукових джерел свідчить, що значна частина досліджень зосереджується лише на окремих групах показників без урахування їх взаємозв'язку [4,5]. На практиці технічна надійність, організація сервісу,

логістика запасних частин та цифрові інструменти функціонують як єдина система, тому ізольоване оцінювання не забезпечує повного уявлення про реальну ефективність сервісного обслуговування. Це зумовлює необхідність застосування комплексного підходу. Комплексний підхід дає змогу оцінювати сервіс як інтегровану систему взаємодії техніки, сервісного центру, цифрових платформ та користувача.

Окремим важливим напрямом сучасних досліджень є цифровізація сервісного обслуговування. Наукові роботи підтверджують, що використання цифрових maintenance assistant, систем дистанційного моніторингу та предиктивної аналітики дозволяє суттєво скорочувати трудомісткість обслуговування, зменшувати витрати ресурсів і підвищувати оперативність реагування на несправності. Значну увагу приділяють також використанню методів машинного навчання та аналізу сигналів для автоматизованого виявлення дефектів у вузлах сільськогосподарської техніки.

Показовим прикладом інтегрованої сервісної концепції є система сервісного обслуговування компанії CLAAS. У сучасній концепції компанії сервіс розглядається як невід'ємна частина експлуатації техніки. Значна увага приділяється забезпеченню технічної готовності машин, оперативному постачанню запасних частин, дистанційній підтримці та використанню цифрових сервісів. Системи TELEMATICS, Remote Service та MAXI CARE забезпечують можливість моніторингу технічного стану машин у реальному часі, дистанційної діагностики та контролю витрат на експлуатацію.

Разом із тим аналіз доступних матеріалів показує, що більшість інформації щодо ефективності сервісної системи виробника має переважно рекламно-інформаційний характер. У науковій літературі недостатньо висвітлено питання кількісного оцінювання фактичної ефективності цифрових сервісних рішень у конкретних виробничих умовах. Це свідчить про актуальність подальших досліджень, спрямованих на розроблення комплексної системи оцінювання ефективності сервісного обслуговування сучасної сільськогосподарської техніки [8].

Таким чином:

1. Сервісне обслуговування є важливою складовою системи технічної експлуатації сільськогосподарської техніки та безпосередньо впливає на рівень її технічної готовності, надійності та економічної ефективності використання.
2. Розвиток наукових підходів до технічного сервісу характеризується переходом від ремонту після відмови до планово-попереджувального обслуговування. Далі – до обслуговування за технічним станом і сучасних цифрових систем прогнозного сервісу.
3. У сучасних умовах найбільш перспективним напрямом розвитку сервісного обслуговування є цифровізація. Використання комп'ютерних технологій що базуються на телеметрії, дистанційної діагностиці, моніторингу технічного стану та алгоритмів прогнозування відмов.

4. Аналіз літературних джерел показав, що ефективність сервісного обслуговування доцільно оцінювати за комплексом взаємопов'язаних технічних, економічних, організаційних та інформаційних показників.

5. Сервісна концепція виробника сільськогосподарської техніки CLAAS базується на інтеграції регламентного обслуговування, логістики запасних частин та цифрових сервісних рішень. Однак питання кількісного оцінювання ефективності цих інструментів у реальних умовах експлуатації залишаються недостатньо дослідженими.

6. Проведений аналіз підтверджує актуальність подальших досліджень, спрямованих на формування комплексної методики оцінювання ефективності сервісного обслуговування сільськогосподарської техніки з урахуванням сучасних цифрових технологій і особливостей сервісних систем виробників.

Список використаних джерел

1. Khodabakhshian R. A review of maintenance management of tractors and agricultural machinery: preventive maintenance systems. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*. 2013. Vol. 15, No. 4. P. 147–159.

2. Lüttenberg H., Bartelheimer C., Beverungen D. Designing Predictive Maintenance for Agricultural Machines // *Proceedings of the 26th European Conference on Information Systems (ECIS 2018)*. Portsmouth, 2018. Paper 153.

3. Regler F., Hausmann F., Krüger M., Bernhardt H. Potential and Improvement of Maintenance Efficiency of Agricultural PTO Shafts by a New Digital Maintenance Assistant. *Agriculture*. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 227. DOI: 10.3390/agriculture13020227.

4. CLAAS. Remote Service : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/posluhy/sluzhba-pidtrymky-kliyentiv-servisni-produkty/remote-service> (дата звернення: 27.04.2026).

5. CLAAS. TELEMATICS : офіц. сайт. URL: <https://www.claas.com/en-au/digital-solutions/data-management/telematics> (дата звернення: 27.04.2026).

6. Jardine A. K. S., Lin D., Banjevic D. A review on machinery diagnostics and prognostics implementing condition-based maintenance. *Mechanical Systems and Signal Processing*. 2006. Vol. 20, No. 7. P. 1483–1510.

7. Mobley R. K. *An Introduction to Predictive Maintenance*. 2nd ed. Burlington : Elsevier, 2002. 425 p.

8. Burlaka, O. A., Yakhin, S. V., Padalka, V. V., & Burlaka, A. O. (2021). 100 tons per hour, what is next? Let us compares and analyzes characteristics of the latest models of highly productive combine harvesters. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 274–288. doi: 10.31210/visnyk2021.03.34



СЕКЦІЯ 5

Електротехнічні системи, енергозабезпечення та електропривод у машинобудуванні й агроінженерії

Попов С.В.,

канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри
механічної та електричної інженерії,
e-mail: stanislav.popov@pdau.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

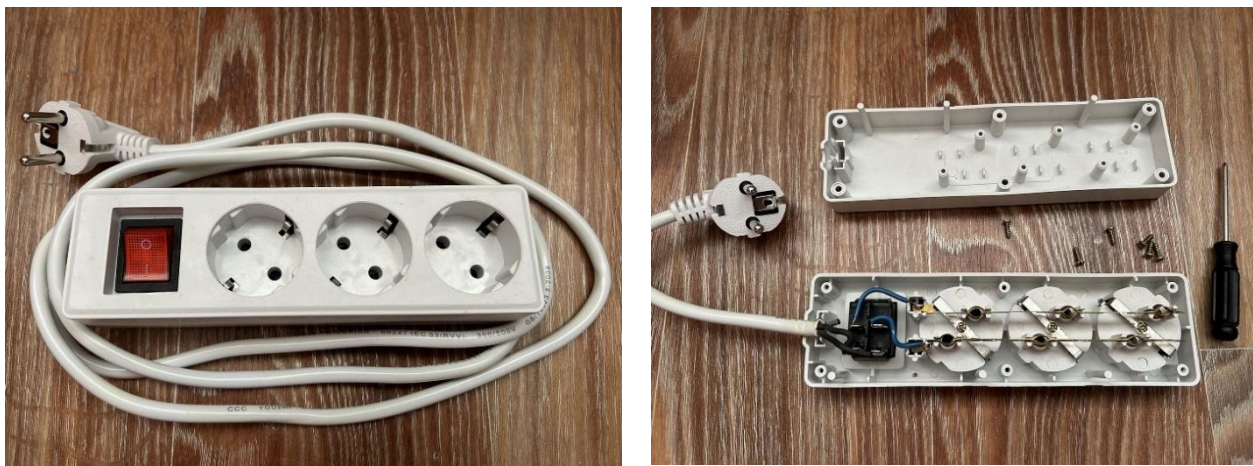
АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНИХ ТА ЕЛЕКТРОНЕБЕЗПЕЧНИХ НЕДОЛІКІВ ПОБУТОВОГО МЕРЕЖЕВОГО ПОДОВЖУВАЧА

Побутові мережеві подовжувачі широко застосовуються для підключення електроприладів різної потужності [1, 2]. Чимала кількість дешевих виробів має спрощену конструкцію та не відповідає заявленим технічним характеристикам. Це може призводити до перегріву контактів, пошкодження ізоляції, коротких замикань та виникнення пожежонебезпечних ситуацій [3-6].

У роботі проведено аналіз конструктивних та електробезпечних недоліків побутового мережевого подовжувача з вбудованим вимикачем (рисунок, а). Під час дослідження виконано розбирання корпусу та візуальну діагностику внутрішніх елементів виробу (рисунок, б). У ході аналізу виявлено ознаки локального теплового впливу на ізоляцію одного з провідників поблизу вимикача. Це може свідчити про підвищений перехідний опір контактного з'єднання, роботу пристрою під надмірним навантаженням. Контактні елементи розеткових груп мають спрощену конструкцію, недостатнє зусилля притискання, що здатне викликати додаткове нагрівання під час тривалої експлуатації.

Окрему увагу привертає невідповідність між заявленими технічними характеристиками та фактичним виконанням виробу. На мережевій вилці вказано номінальний струм 10 А при напрузі 230...250 В. Це відповідає допустимій потужності близько 2,3...2,5 кВт. Водночас на корпусі подовжувача зазначено максимальну потужність 3,5 кВт. Така потужність відповідає струму близько 15 А. Тобто отримане значення суттєво перевищує допустимий струм вилки та, скоріш за усе, внутрішніх струмопровідних елементів подовжувача.

Візуальний аналіз показав використання провідників малого перерізу. Вони конструктивно більше відповідають навантаженням близько 10 А, а не заявленим 15 А. За таких умов при тривалій роботі під великим навантаженням можливі значний нагрів провідників, деградація ізоляції та прискорене старіння контактних елементів.



а)

б)

Рисунок – Побутовий мережевий подовжувач: а – вигляд загальний;
б – діагностика внутрішніх елементів

Також встановлено відсутність повноцінного заземлення. Незважаючи на використання європейської вилки із заземлювальними контактами, внутрішня конструкція подовжувача виконана за двопровідною схемою без окремого захисного провідника РЕ. Відсутність заземлення на мережевому фільтрі означає, що він фактично працює лише як подовжувач із базовим захистом, але не може повноцінно виконувати свою захисну функцію. У нормальному режимі заземлення відводить струми витоку, імпульсні перенапруги та електричні завади. Якщо його немає, корпуси підключених приладів можуть отримувати невеликий потенціал напруги – іноді це проявляється легким «пощипуванням» при дотику до металевих частин комп'ютера, пральної машини чи блока живлення. Для техніки це також небажано.

Таким чином, проведені дослідження виявило низку конструктивних та електротехнічних недоліків побутового мережевого подовжувача. Серед них невідповідність заявленої потужності допустимому струмовому навантаженню, недостатній переріз провідників, відсутність заземлення та ознаки теплового пошкодження ізоляції. Отримані результати підтверджують необхідність посилення контролю якості побутових електротехнічних виробів та можуть бути використані під час викладання дисциплін з електробезпеки, технічної діагностики та електротехнічної експертизи.

Список використаних джерел

1. Попов К.С., Попов С.В. Модернізація електроприладу місцевого освітлення зони відпочинку. *Інноваційні аспекти систем безпеки праці, цивільного захисту та захисту інтелектуальної власності*: матеріали X Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф. (м. Полтава, 08-09 квітня 2025 р.). Полтава: ПДАУ, 2025. С. 160-162.

2. Попов С. В., Прілепо Н. В. Енергоефективне місцеве освітлення за умов відключень електроенергії в Україні. *Інноваційні підходи в освіті: інтеграція технологій, науки та практики у підготовці фахівців*: матеріали 57-ої науково-

методичної конференції викладачів і аспірантів, (м. Полтава, 25-26 лютого 2026 р.). м. Полтава, ПДАУ, 2026 р. С. 157-159.

3. Назаровець О., Перерва Р., Рудик Ю., Кириченко О., Янків В. Експериментальне дослідження параметрів пожежної небезпеки контактних з'єднань в електропроводах. *Journal of Scientific Papers Social Development & Security*. № 14(2). С. 161-178

4. Зобенко О. М. Модель протипожежного захисту електричних мереж у місцях контактних з'єднань. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. 2023. № 1(15). С. 141-148.

5. Рудик Ю. І., Воробйов О.І. Основи оцінювання пожежної небезпеки електроустановок: Навч. посібник. Вид. 2-е, випр. і доп. Львів, 2013. 224 с.

6. Сольоний С.В., Рудик Ю.І., Сольона О.Я., Демченко Г.В. Система попередження вибухопожежонебезпечних ситуацій в об'єктах, пов'язаних із життєдіяльністю людини. Пожежна безпека. Львів, 2015. № 26. С. 149-155

Бабич Я.В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,

e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Полтавський державний аграрний університет

м.Полтава, Україна

ВПЛИВ ЕЛЕКТРИФІКАЦІЇ ТРАНСПОРТУ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ІНФРАСТРУКТУРУ: ІНТЕГРАЦІЯ ЗАРЯДНИХ СТАНЦІЙ ДЛЯ ЕЛЕКТРОМОБІЛІВ В ЕНЕРГОМЕРЕЖУ УКРАЇНИ

Останнє десятиліття характеризується стрімким розвитком електротранспорту та активним впровадженням інноваційних технологій у транспортну галузь. Світові тенденції декарбонізації економіки, зростання цін на викопні види палива та необхідність зменшення шкідливих викидів у атмосферу стали основними чинниками популяризації електромобілів у більшості країн світу [1]. Провідні автовиробники активно переорієнтовують виробництво на електричні транспортні засоби, а уряди держав стимулюють розвиток електромобільності шляхом упровадження екологічних програм, податкових пільг та розвитку зарядної інфраструктури.

Масовий перехід на електротранспорт в Україні наразі не створює критичної загрози для енергомережі, проте вимагає поступової модернізації розподільчих мереж. Актуальним постає питання оптимізації навантаження на енергосистему в години пікового споживання електроенергії, а також забезпечення стабільної роботи зарядної інфраструктури в умовах нерівномірного енергоспоживання та можливих перебоїв електропостачання.

У зв'язку з цим особливого значення набуває впровадження інтелектуальних систем керування зарядними станціями, технологій Smart Grid, локальних систем накопичення електроенергії та інтеграції відновлюваних джерел енергії у загальну енергетичну мережу [2]. Комплексна модернізація

електротранспортної та енергетичної інфраструктури створює передумови для сталого розвитку електромобільності та підвищення енергетичної безпеки України.

Проблема інтеграції зарядних станцій для електромобілів в енергомережу України набуває особливої актуальності в умовах збільшення кількості електротранспорту та нестабільності енергетичної системи внаслідок воєнного стану. Складні умови функціонування енергетичної інфраструктури потребують пошуку новітніх технічних, технологічних та організаційних рішень щодо забезпечення стабільної роботи зарядних комплексів і ефективного управління навантаженням на електромережу [3].

Одним із ключових напрямів розвитку електротранспортної інфраструктури є впровадження мереж швидкісних та надшвидкісних зарядних станцій. Використання станцій типу AC та DC Fast Charge - два різні стандарти заряджання (відповідно, змінним та постійним струмом), які визначають швидкість та місце перетворення електроенергії, дозволяють значно скоротити час заряджання електромобілів, однак водночас створюють додаткові пікові навантаження на локальні електромережі [4]. Особливо це стосується великих міст, логістичних вузлів та транспортних коридорів, де концентрація електромобілів постійно зростає.

Інноваційними аспектами інтеграції зарядної інфраструктури в енергомережу України можна вважати такі напрями:

- використання інтелектуальних систем керування енергоспоживанням Smart Grid (розумна енергомережа) – це модернізована мережа електропостачання, що використовує цифрові технології, датчики та двосторонній зв'язок для оптимізації виробництва, розподілу та споживання енергії;
- впровадження технологій балансування навантаження між зарядними станціями;
- застосування систем накопичення електроенергії на базі акумуляторних модулів;
- інтеграція зарядних станцій із відновлюваними джерелами енергії;
- використання цифрових платформ моніторингу та дистанційного керування зарядною інфраструктурою;
- автоматизація процесів розподілу навантаження в енергомережі;
- впровадження технології Vehicle-to-Grid (V2G) (двостороння зарядка), що дозволяє електромобілям працювати як мобільні накопичувачі енергії [5].

Важливим аспектом функціонування сучасної зарядної інфраструктури є використання програмного забезпечення для моніторингу та керування процесами заряджання. Цифрові платформи дозволяють здійснювати контроль споживання електроенергії, аналізувати навантаження на мережу, регулювати режими заряджання та забезпечувати взаємодію між енергетичними компаніями й користувачами електротранспорту.

Особливої актуальності питання інтеграції зарядних станцій набувають в умовах енергетичних обмежень та пошкодження енергетичної інфраструктури України. Перебої електропостачання та нерівномірність навантаження на

електромережі можуть негативно впливати на стабільність роботи зарядних комплексів. У зв'язку з цим перспективним напрямом є створення локальних енергетичних систем із використанням сонячних електростанцій, акумуляторних накопичувачів та автономних джерел живлення [5-6].

Суттєву роль у розвитку електротранспортної інфраструктури відіграє і нормативно-правове забезпечення. Майбутнє впровадження електротранспорту потребує адаптації державних стандартів, розвитку мережі громадських зарядних станцій та стимулювання інвестицій у модернізацію енергетичної інфраструктури [7]. Крім того, важливим напрямом є підготовка висококваліфікованих фахівців у сфері електротехнічних систем, енергоменеджменту та сервісного обслуговування електротранспорту.

Отже, динамічна електрифікація транспорту суттєво впливає на розвиток енергетичної інфраструктури України та потребує комплексного підходу до інтеграції зарядних станцій в енергомережу. Поєднання сучасних цифрових технологій, інтелектуальних систем керування енергоспоживанням, відновлюваних джерел енергії та інноваційних рішень у сфері електротранспорту створює передумови для формування ефективної, стійкої та екологічно безпечної транспортно-енергетичної системи України.

Список використаних джерел:

1. Харін С., Папіж Ю., Коровін С. Електромобілі як ключовий фактор декарбонізації та розвитку світової економіки. *Економіка та суспільство*. 2024. Вип. 70. DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-70-49>.
2. İnci M., Çelik Ö., Lashab A. та ін. Power System Integration of Electric Vehicles: A Review on Impacts and Contributions to the Smart Grid. *Applied Sciences*. 2024. Vol. 14, № 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/app14062246>.
3. Нерубацький В., Гордієнко Д. Топологія ефективного використання енергії зарядною станцією електромобілів. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 1. DOI: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2024.297520>.
4. Davydov V., Stafidov Y. Using charging stations for electric vehicles as a way of balancing the energy system. *International Science Journal of Engineering & Agriculture*. 2023. DOI: <https://doi.org/10.46299/j.isjea.20230206.09>.
5. Rana R., Saggu T. S., Letha S. S. V2G based bidirectional EV charger topologies and its control techniques: a review. *Discover Applied Sciences*. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42452-024-06297-z>.
6. Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Інтеграція зарядних станцій електромобілів у сучасні енергетичні мережі. *Техніка та енергетика АПК*. 2024. № 3. С. 31–39.
7. Костюк О. В. Розвиток електротранспорту та перспективи електромобільності в Україні. *Автомобільний транспорт*. 2023. № 2. С. 18–25.



Басова Ю.О.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: yuliia.basova@pdau.edu.ua

Шумейко М. М.,

здобувач вищої освіти першого (бакалавського) рівня
e-mail: maksym.shumeiko@st.pdaa.edu.ua
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СХЕМ ПІДКЛЮЧЕННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ У СОНЯЧНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМАХ

У фотоелектричних системах одним із ключових етапів проектування є вибір схеми підключення сонячних панелей. Від способу з'єднання фотоелектричних модулів залежать електричні параметри системи, ефективність роботи МРРТ-контролера, рівень втрат потужності та стабільність функціонування інвертора [1].

Послідовне підключення фотоелектричних модулів застосовується у випадках необхідності підвищення напруги системи. При такому способі з'єднання сумарна напруга масиву визначається як сума напруг окремих модулів. При цьому струм у колі залишається незмінним [2]. Основною перевагою послідовного підключення є зменшення робочого струму системи, що дозволяє знизити втрати потужності у провідниках. Паралельне підключення використовується у випадках, коли необхідно збільшити струм системи при незмінній напрузі. У такому випадку сумарний струм системи визначається як сума струмів усіх фотоелектричних модулів, підключених до мережі. Напруга системи при цьому залишається сталою [2].

Порівняльний аналіз переваг, недоліків та сфер застосування різних схем підключення фотоелектричних модулів наведено в табл. 1.

Для обґрунтування вибору схеми підключення фотоелектричних модулів у дипломному проєкті було проведено порівняльний аналіз електричних параметрів системи при послідовному та паралельному з'єднанні сонячних панелей (рис. 1) [3, 4].

Для розрахунку прийнято чотири однакові фотоелектричні модулі з такими характеристиками, які наведені у табл. 2. Результати розрахунку також наведену у табл. 2.

Аналіз отриманих результатів показує, що при послідовному підключенні напруга системи збільшується у чотири рази, тобто приблизно на 300 %, при незмінному значенні струму. Це дозволяє знизити втрати потужності у кабельних лініях, зменшити нагрів провідників та забезпечити ефективну роботу МРРТ-контролера. Саме тому послідовне з'єднання доцільно використовувати у мережевих та високовольтних фотоелектричних системах.

Таблиця 1 – Порівняльний SWOT-аналіз схем підключення фотоелектричних модулів

Тип з'єднання	Переваги (S - Strengths)	Недоліки (W - Weaknesses)	Доцільність застосування (O - Opportunities)	Потенційні ризики (T - Threats)
Послідовне підключення	<ul style="list-style-type: none"> • підвищення напруги системи; • зменшення робочого струму; • зниження втрат у кабельних лініях; • можливість використання провідників меншого перерізу; • висока ефективність роботи МРРТ-контролерів 	<ul style="list-style-type: none"> • чутливість до затінення однієї панелі; • зниження продуктивності всього ланцюга при несправності одного модуля; • підвищені вимоги до електробезпеки; • необхідність точного підбору обладнання за напругою 	<ul style="list-style-type: none"> • мережеві сонячні електростанції; • високовольтні фотоелектричні системи; • системи потужністю понад 1–2 кВт; • великі відстані між панелями та інвертором 	<ul style="list-style-type: none"> • перевищення допустимої напруги контролера або інвертора; • значне падіння генерації при затінненні; • складність модернізації системи
Паралельне підключення	<ul style="list-style-type: none"> • стабільна робота при частковому затінненні; • незалежність окремих модулів; • підвищена надійність автономної системи; • простота розширення фотоелектричного масиву 	<ul style="list-style-type: none"> • збільшення робочого струму; • необхідність використання кабелів більшого перерізу; • збільшення теплових втрат; • підвищене навантаження на комутаційне обладнання 	<ul style="list-style-type: none"> • автономні системи 12–24 В; • резервне електроживлення; • приватні домогосподарства; • системи з нерівномірним освітленням панелей 	<ul style="list-style-type: none"> • перегрів провідників при великих струмах; • зростання втрат потужності; • обмеження по потужності низьковольтних систем
Комбіноване підключення	<ul style="list-style-type: none"> • можливість одночасного збільшення струму та напруги; • гнучкість конфігурації системи; • оптимізація параметрів під інвертор; • підвищення ефективності великих СЕС 	<ul style="list-style-type: none"> • складність розрахунку та монтажу; • необхідність балансування стрінгів; • складніше технічне обслуговування 	<ul style="list-style-type: none"> • промислові сонячні електростанції; • системи середньої та великої потужності; • об'єкти агропромислового комплексу 	<ul style="list-style-type: none"> • нерівномірне навантаження стрінгів; • складність діагностики несправностей; • підвищені вимоги до захисту системи

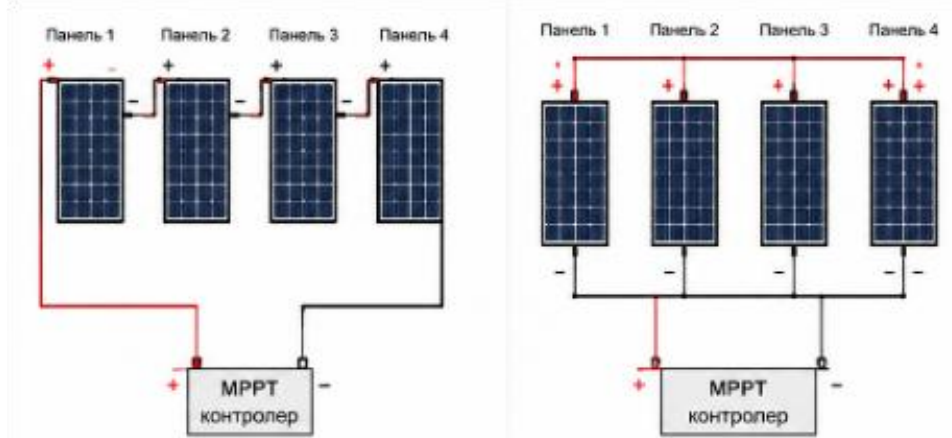


Рисунок 1 – Приклад схем підключення сонячних панелей : а) послідовне; б) паралельне з'єднання

Таблиця 2 – Порівняння параметрів фотоелектричної системи при різних схемах підключення

Параметр	Один модуль	Послідовне підключення (4 модулі)	Паралельне підключення (4 модулі)
Напруга системи, В	40	160	40
Зміна напруги, %	–	+ 300 %	0 %
Струм системи, А	11	11	44
Зміна струму, %	–	0 %	+ 300 %
Потужність системи, Вт	440	1760	1760

При паралельному підключенні напруга системи залишається сталою, тоді як струм збільшується приблизно на 300 %. Такий спосіб з'єднання забезпечує стабільність роботи системи при частковому затіненні окремих панелей та підвищує надійність автономних низьковольтних систем. Разом із тим збільшення струму призводить до зростання теплових втрат і потребує використання кабелів більшого перерізу.

Отже, при однаковій потужності системи послідовне з'єднання дозволяє суттєво зменшити струм у колі та знизити втрати електроенергії. Паралельне підключення забезпечує кращу стійкість системи до часткового затінення та підвищує надійність автономних установок.

Таким чином, вибір схеми підключення фотоелектричних модулів повинен здійснюватися з урахуванням типу системи, параметрів інвертора, умов експлуатації та вимог до енергоефективності. Для мережевих та високовольтних систем доцільним є послідовне підключення, тоді як для автономних низьковольтних установок більш ефективним є паралельне з'єднання фотоелектричних модулів.

Список використаних джерел

1. Посібник з технології сонячних фотоелектричних систем / пер. укр. мовою. Київ : БФД, 2023. 146 с. URL: [PDF-документ](#) (дата звернення: 13.05.2026).
2. Співак В.М., Гуржий А.М., Нельга А.Т., Ітякін О.С. Загальна електротехніка і основи електроніки: навчальний посібник.. Київ: КПІ, 2020. 266 с.
3. Схеми та способи підключення сонячних батарей: як правильно провести монтаж сонячної панелі. URL: [Solar Garden](#) (дата звернення: 13.05.2026).
4. SIG Energy. Інструкція з монтажу та експлуатації односторонніх сонячних панелей. 2024. URL: [SIG Energy PDF](#) (дата звернення: 13.05.2026).



Горюнов Б.О.асистент кафедри агроінженерії та
автомобільного транспорту

e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

БІОЕНЕРГЕТИКА ЯК НАПРЯМ РОЗВИТКУ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Сучасний розвиток агропромислового комплексу супроводжується зростанням потреби у забезпеченні енергетичної незалежності, раціональному використанні природних ресурсів та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище. У зв'язку з цим особливого значення набуває розвиток біоенергетики як одного з перспективних напрямів виробництва відновлюваної енергії. Використання біологічної сировини для отримання теплової та електричної енергії дозволяє не лише підвищити ефективність аграрного виробництва, а й сприяє вирішенню екологічних та економічних проблем сільських територій.

Біоенергетика базується на використанні органічної сировини рослинного та тваринного походження для виробництва енергії. Основними джерелами біомаси є відходи рослинництва, деревини, тваринництва, харчової промисловості та спеціально вирощувані енергетичні культури. Значний потенціал для розвитку біоенергетики мають солома зернових культур, кукурудзяні стебла, лушпиння соняшнику, гній, органічні відходи та енергетичні рослини, зокрема міскантус, енергетична верба та сорго. Раціональне використання таких ресурсів дозволяє зменшити залежність від традиційних видів палива та забезпечити більш ефективне використання відходів аграрного виробництва [1].

Одним із найбільш поширених напрямів біоенергетики є виробництво біогазу. Біогазові установки дозволяють переробляти органічні відходи шляхом анаеробного бродіння з утворенням газової суміші, яка використовується для виробництва теплової та електричної енергії. Важливою перевагою біогазових технологій є можливість одночасного вирішення проблем утилізації відходів і отримання енергетичних ресурсів. Крім того, залишки після переробки можуть використовуватися як органічні добрива, що сприяє підвищенню родючості ґрунтів та розвитку екологічно орієнтованого землеробства.

Перспективним напрямом є виробництво твердого біопалива. З аграрної сировини виготовляють паливні брикети та пелети, які використовуються для опалення житлових, комунальних і виробничих об'єктів. Використання біопалива дозволяє скоротити споживання природного газу та вугілля, знизити викиди парникових газів і підвищити рівень енергетичної автономності аграрних підприємств. Особливо актуальним це є для сільських територій, де існує значна кількість доступної біомаси.

Суттєве значення у розвитку біоенергетики має вирощування енергетичних культур. Такі рослини характеризуються високою врожайністю, невибагливістю до умов вирощування та значним енергетичним потенціалом. Вони можуть вирощуватися на малопродуктивних або деградованих землях, що дозволяє ефективно використовувати земельні ресурси без суттєвого скорочення площ для продовольчих культур. Використання енергетичних культур сприяє диверсифікації аграрного виробництва та створенню нових джерел доходу для сільськогосподарських підприємств [2-3].

Важливу роль у розвитку біоенергетики відіграє впровадження сучасних технологій переробки біомаси та автоматизація енергетичних процесів. Використання цифрових систем моніторингу, автоматизованого керування біоенергетичними установками та технологій енергоефективності дозволяє підвищити продуктивність обладнання та знизити експлуатаційні витрати. Крім того, інтеграція біоенергетичних систем із концепцією сталого розвитку сприяє формуванню екологічно безпечного аграрного виробництва.

Разом із перевагами біоенергетики існують і певні труднощі її впровадження. До основних проблем належать значні початкові інвестиції, потреба у сучасному технологічному обладнанні, складність логістики біомаси та недостатній рівень державної підтримки. Важливим фактором є також необхідність підготовки фахівців, здатних ефективно працювати з біоенергетичними системами та сучасними енергетичними технологіями.

Отже, біоенергетика є перспективним напрямом розвитку агропромислового комплексу, який поєднує енергетичну ефективність, економічну доцільність та екологічну безпеку. Використання біомаси, виробництво біогазу, твердого біопалива та вирощування енергетичних культур створюють передумови для підвищення енергетичної незалежності аграрного сектору та забезпечення сталого розвитку сільських територій. Подальший розвиток біоенергетики сприятиме модернізації агропромислового виробництва та формуванню сучасної енергетичної інфраструктури в аграрній сфері.

Список використаних джерел

1. Kaltschmitt M., Hartmann H., Hofbauer H. Energy from Biomass : Fundamentals, Techniques and Processes. 3rd ed. Berlin : Springer, 2019. 1889 p.
2. McKendry P. Energy production from biomass (part 1): overview of biomass // Bioresource Technology. 2002. Vol. 83, № 1. P. 37–46.
3. Demirbas A. Biofuels : Securing the Planet's Future Energy Needs. London : Springer, 2009. 336 p.
4. FAO. Bioenergy and Food Security : The BEFS Analysis for Sustainable Bioenergy Production. Rome : FAO, 2010. 114 p.



СЕКЦІЯ 6

Охорона праці, безпека життєдіяльності та екологічна безпека в інженерній діяльності

Дрожчана О.У.,
старший викладач кафедри механічної
та електричної інженерії
e-mail: olga.drozhchana@pdau
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ЗНИЖЕННЯ ВИРОБНИЧОГО ТРАВМАТИЗМУ ШЛЯХОМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Сучасні промислові підприємства характеризуються високим рівнем механізації та складністю технологічних процесів, що супроводжується підвищеним ризиком виробничого травматизму.

Основними небезпечними факторами залишаються рухомі частини машин, електроустановки, підвищені температури, шум, вібрація, а також вплив шкідливих речовин. Одним із найбільш ефективних напрямів зниження рівня травматизму є автоматизація технологічних процесів [1].

Автоматизація виробництва передбачає використання систем керування, роботизованих комплексів, датчиків контролю та програмованих логічних контролерів, які забезпечують виконання технологічних операцій без безпосередньої участі людини або з мінімальним її залученням. Це дозволяє суттєво зменшити контакт працівника з небезпечними зонами обладнання та знизити ймовірність виробничих травм» [2].

Основними причинами виробничого травматизму є порушення правил охорони праці, недостатній рівень механізації, зношеність обладнання та людський фактор. Значна частина нещасних випадків виникає через перебування працівників у зоні дії рухомих механізмів або виконання операцій вручну там, де можливе застосування автоматизованих рішень [1].

Впровадження автоматизованих систем дозволяє мінімізувати вплив людського фактору та підвищити точність виконання технологічних операцій. Особливо це актуально для таких галузей, як машинобудування, агропромисловий комплекс, металургія, харчова та хімічна промисловість. У цих сферах автоматизація не лише зменшує ризики, але й стабілізує виробничий процес, знижуючи ймовірність аварійних ситуацій.

Таблиця 1 – Порівняння рівня травматизму залежно від ступеня автоматизації

Рівень автоматизації	Рівень травматизму	Характеристика
Ручні процеси	Високий	Постійна участь працівника в небезпечному процесі
Напівавтоматичні системи	Середній	Часткове зменшення контакту з обладнанням
Повна автоматизація	Низький	Мінімальна участь людини у процесі

Ефективність автоматизації можна оцінити через зменшення ймовірності виникнення нещасних випадків. Рівень ризику травмування визначається за залежністю [1]:

$$R = P \cdot N$$

де R – рівень ризику травматизму; P – ймовірність виникнення небезпечної ситуації; N – тяжкість можливих наслідків.

Застосування автоматизації дозволяє суттєво знизити значення P , оскільки зменшується кількість контактів працівника з небезпечним обладнанням.

Важливим напрямом автоматизації є впровадження роботизованих комплексів для виконання операцій з підвищеною небезпекою, таких як зварювання, різання металу, транспортування важких вантажів, робота з агресивними хімічними речовинами, а також обслуговування високотемпературних агрегатів. У таких випадках роботизовані системи повністю виключають присутність людини в небезпечній зоні.

Окреме значення мають системи автоматичного контролю безпеки, які включають датчики руху, системи аварійного блокування, контроль перевантаження, сигналізацію несправностей та автоматичне вимкнення обладнання при відхиленні параметрів від нормальних значень. Це дозволяє попередити аварію ще до її виникнення [2].

Також важливим є використання автоматизованих систем моніторингу виробничого середовища, які контролюють температуру, вологість, рівень запиленості та концентрацію шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Це особливо актуально для підприємств, де існує ризик утворення вибухонебезпечних або токсичних середовищ.

За даними міжнародної практики, впровадження автоматизованих технологічних ліній дозволяє знизити рівень виробничого травматизму на 30–70% залежно від галузі виробництва та рівня модернізації підприємства. Найбільший ефект спостерігається у виробництвах із високим рівнем ручної праці та підвищеною небезпекою технологічних операцій [2].

Крім підвищення безпеки праці, автоматизація має й інші позитивні ефекти: підвищення продуктивності, стабільність технологічних процесів, зменшення браку продукції, а також зниження впливу шкідливих виробничих факторів, таких як шум, вібрація та запиленість.

Отже, автоматизація технологічних процесів є одним із найефективніших напрямів зниження виробничого травматизму. Вона дозволяє мінімізувати вплив людського фактору, підвищити рівень техногенної безпеки та забезпечити більш безпечні й сучасні умови праці на промислових підприємствах.

Список використаних джерел

1. Пожарова О.В. Охорона праці: навч. посіб. Одеса. 2022. 86с. URL: <https://surl.li/xyvnhv>
2. Використання технологій безпеки на робочому місці або сучасні технології в охороні праці: URL: <https://surl.li/dmbfvk>

Яцук О. В.,

к.с.-г.н., доцент кафедри цивільної безпеки,
e-mail: oleh.yatsukh@tsatu.edu.ua
*Таврійський державний агротехнологічний
університет імені Дмитра Моторного*

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ДЛЯ ОЦІНКИ ГОТОВНОСТІ ТА РЕАГУВАННЯ НА НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ

Сучасні умови характеризуються зростанням кількості та складності надзвичайних ситуацій (НС), що зумовлено як техногенними, так і природними та гібридними загрозами. Військові конфлікти, зміни клімату, урбанізація та цифровізація суспільства значно підвищують рівень ризиків для населення та підприємств. У таких умовах традиційні підходи до оцінки готовності та реагування на НС часто виявляються недостатньо ефективними [1].

Одним із перспективних напрямів підвищення ефективності систем цивільного захисту є використання технологій штучного інтелекту (ШІ). Завдяки здатності обробляти великі обсяги даних, виявляти закономірності та прогнозувати розвиток подій, ШІ відкриває нові можливості для оцінки ризиків, планування дій та оперативного реагування на НС [2, 3].

Традиційні методи оцінки готовності підприємств і населення до НС базуються переважно на нормативних підходах, експертних оцінках та статистичних даних. Основними недоліками таких методів є:

- обмежена здатність враховувати динамічні зміни середовища;
- суб'єктивність оцінювання;
- недостатня оперативність отримання результатів;
- складність обробки великого обсягу різномірної інформації.

Крім того, процес реагування на НС часто супроводжується дефіцитом часу та інформації, що ускладнює прийняття ефективних управлінських рішень. У зв'язку з цим виникає потреба у впровадженні інноваційних технологій, зокрема штучного інтелекту, здатних підвищити якість оцінки готовності та ефективність реагування [4, 5].

Штучний інтелект може бути використаний для комплексної оцінки

готовності підприємств до НС шляхом аналізу внутрішніх даних, оцінки вразливостей та моделювання сценаріїв розвитку кризових ситуацій. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє формувати інтегральні показники готовності та прогнозувати ризики виникнення аварій [2].

Промисловість та підприємства фокусуються на безперервності бізнесу та безпеці персоналу:

1. Прогностична аналітика (Machine Learning): алгоритми на кшталт Random Forest або XGBoost аналізують історичні дані для оцінки ймовірності пожеж, аварій на виробництві або природних катастроф у конкретній локації.

2. Цифрові двійники (Digital Twins): моделювання поведінки об'єкта під час НС у віртуальному середовищі, що дозволяє тестувати стратегії евакуації до їх впровадження.

3. Інтелектуальні системи відеоспостереження: моделі глибокого навчання (CNN) інтегруються в системи безпеки для автоматичного виявлення задимлення, вогню або порушень периметра.

4. Автономні SOC та системи моніторингу: використовуються для виявлення кіберзагроз або фізичних аномалій, здатні автоматично виконувати дії зі стримування (наприклад, блокування дверей або відключення живлення).

У сфері цивільної безпеки ШІ може застосовуватись для аналізу поведінкових факторів, рівня обізнаності населення та прогнозування дій у кризових умовах. Це дозволяє більш точно визначати вразливі групи населення та підвищувати ефективність навчальних заходів [1].

Для оцінки готовності та реагування на надзвичайні ситуації (НС) для населення (Public Safety & Community) використовують комбінацію прогностичних моделей, комп'ютерного зору та систем обробки мови, в яких основний акцент робиться на раннє попередження та швидку допомогу:

- Комп'ютерний зір (Computer Vision): Аналіз супутникових знімків та даних з дронів для оцінки масштабів руйнувань після катастроф (наприклад, повеней чи землетрусів).

- Обробка природної мови (NLP): моніторинг соціальних мереж та новин для виявлення ранніх сигналів НС (проект HealthMap для відстеження епідемій); чат-боти та системи перекладу для надсилання попереджень різними мовами в режимі реального часу.

- Геопросторові моделі (GeoAI): Платформи на базі ArcGIS використовують машинне навчання для прогнозування зон затоплення або траєкторій лісових пожеж, допомагаючи владі планувати ресурси.

- Моделі пріоритетизації викликів: Системи AI-тріажу допомагають диспетчерським службам автоматично визначати найбільш критичні виклики під час масових НС, скорочуючи час очікування.

Інтелектуальні системи здатні аналізувати великі масиви даних (метеорологічні, технічні, соціальні) та виявляти ранні ознаки небезпечних процесів. Це забезпечує підвищення ефективності систем раннього попередження та зниження масштабів наслідків НС [3, 6].

У процесі реагування на НС ШІ може виступати як система підтримки прийняття рішень, що дозволяє оперативно обробляти інформацію та

пропонувати оптимальні сценарії дій. Це особливо важливо в умовах невизначеності та дефіциту часу [7].

ШІ дозволяє оптимізувати розподіл ресурсів під час ліквідації наслідків НС, зокрема визначати пріоритетні напрямки реагування та ефективно координувати дії служб цивільного захисту [6].

На даний час актуальними є наступні платформи:

- Coram AI: Система, що об'єднує відеоаналітику та управління доступом для миттєвого реагування на загрози.

- Zesty.AI: Використовує ШІ для оцінки ризиків нерухомості від пожеж та ураганів.

- Navigate360: Комплексне рішення для безпеки освітніх та комерційних установ, орієнтоване на підготовку та навчання через симуляції.

Використання ШІ у сфері цивільного захисту забезпечує:

- підвищення точності оцінки ризиків;

- оперативність обробки інформації;

- можливість аналізу великих обсягів даних;

- зниження впливу людського фактора;

- підвищення ефективності управлінських рішень [2, 3].

Незважаючи на значні переваги, впровадження ШІ супроводжується рядом проблем, серед яких: обмеженість даних, висока вартість технологій, кіберзагрози та недосконалість нормативно-правової бази. Особливо актуальними є питання захисту інформації та етичного використання технологій [4, 5].

Подальший розвиток використання ШІ у сфері ЦБ пов'язаний із інтеграцією інтелектуальних систем у державні механізми управління, розвитком цифрової інфраструктури та впровадженням інноваційних технологій. Важливим напрямом є також удосконалення стратегій реагування населення на НС, що підтверджується сучасними дослідженнями [1].

Таким чином, використання штучного інтелекту є перспективним напрямом підвищення ефективності оцінки готовності та реагування на надзвичайні ситуації. Інтелектуальні системи дозволяють значно покращити процеси прогнозування, управління та прийняття рішень у сфері цивільної безпеки.

Разом із тим, для повноцінного впровадження ШІ необхідно вирішити ряд організаційних, технічних та правових питань. Подальші дослідження мають бути спрямовані на розробку ефективних моделей застосування ШІ у системі цивільного захисту.

Список використаних джерел

1. Яцух О. В. Дослідження та розробка ефективних стратегій реагування громадян на надзвичайні ситуації // Фізичне виховання, безпека життєдіяльності і сучасні технології виробництва : зб. тез доп. III Всеукр. наук.-практ. конф. (електронне вид.), 12 берез. 2026 р. / за заг. ред. А. А. Івашури. Харків : ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2026. С. 196–200.

2. Кубатко О. В. та ін. Штучний інтелект для підвищення ефективності бізнесу та цивільного захисту // Економічний простір. 2024. № 190. С. 165–171.

3. Kaliakin S. V., Kolisnychenko K. S. Artificial intelligence and its impact on

society // Conference Proceedings. 2024. P. 377–379.

4. Лисецький Ю. М. Штучний інтелект у кібербезпеці // *Military Strategy and Technology*. 2025. № 3. С. 45–52.

5. Герасименко О. М. Застосування ШІ у критичній інфраструктурі // *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2024. № 5. С. 210–215.

6. Pantyushenko R., Chaika Y. Artificial intelligence in cybersecurity // *Military Science Journal*. 2024. Vol. 2. P. 16–24.

7. Тітова О. С., Мачуський В. В. ШІ та законодавство ЄС // *Аналітично-порівняльне правознавство*. 2024. № 2. С. 180–185.

Василевич В.О.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра

e-mail: *vadim.vasylevych@st.pdau.edu.ua*

Дудник В.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри

механічної та електричної інженерії

e-mail: *volodymyr.dudnyk@pdau.edu.ua*

Полтавський державний аграрний університет,

м. Полтава, Україна

ЦИВІЛЬНИЙ ЗАХИСТ ТА ТЕХНІЧНИЙ СЕРВІС У РЕАЛІЯХ СЬОГОДЕННЯ

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України характеризується складними умовами функціонування виробництва, що обумовлено воєнним станом, зростанням техногенного навантаження, дефіцитом енергетичних ресурсів та необхідністю забезпечення безперервної роботи підприємств. У таких умовах особливого значення набувають питання цивільного захисту та безпеки технічного сервісу машин і обладнання. Надійність функціонування технічних систем сьогодні визначає не лише ефективність виробничих процесів, а й рівень безпеки працівників, стійкість підприємств до надзвичайних ситуацій та здатність оперативно відновлювати виробничу діяльність.

Технічний сервіс є важливою складовою сучасного аграрного виробництва, оскільки забезпечує підтримання працездатності машинно-тракторного парку, технологічного обладнання та транспортних засобів. У процесі виконання діагностування, технічного обслуговування і ремонту працівники постійно контактують із небезпечними виробничими факторами: рухомими деталями машин, електрообладнанням, системами високого тиску, паливно-мастильними матеріалами, токсичними речовинами та джерелами підвищеної температури [1]. В умовах сьогодення до традиційних ризиків додаються нові виклики, пов'язані з перебоями електропостачання, загрозою ракетних ударів, пошкодженням виробничої інфраструктури та необхідністю роботи персоналу в умовах постійної психологічної напруги.

Особливої актуальності питання цивільного захисту набувають у сфері

технічного сервісу сільськогосподарської техніки, де значна частина робіт виконується у польових умовах або на відкритих виробничих майданчиках. Під час проведення сервісних операцій можливе виникнення пожежонебезпечних ситуацій, вибухів паливно-повітряних сумішей, ураження працівників електричним струмом чи травмування через несправність обладнання. Нерідко ремонтні роботи виконуються у складних погодних умовах, за обмеженого освітлення або в умовах дефіциту запасних частин, що підвищує ризик виробничого травматизму [2].

Важливою складовою системи цивільного захисту є підготовка працівників до дій у надзвичайних ситуаціях [3]. Працівники технічного сервісу повинні володіти навичками користування засобами індивідуального захисту, вміти діяти під час сигналу повітряної тривоги, знати правила евакуації та основи надання домедичної допомоги. Сучасні реалії вимагають від підприємств не лише виконання нормативних вимог з охорони праці, а й формування комплексної системи безпеки, яка включає організаційні, технічні та інформаційні заходи.

Значну роль у підвищенні безпеки технічного сервісу відіграє впровадження сучасних діагностичних систем та автоматизованих засобів контролю технічного стану машин. Використання цифрових технологій, комп'ютерної діагностики, систем дистанційного моніторингу та автоматичного контролю параметрів роботи обладнання дозволяє своєчасно виявляти несправності та попереджати аварійні ситуації. Це сприяє зменшенню часу простоїв техніки, підвищенню ефективності ремонтних робіт і мінімізації ризику виникнення небезпечних ситуацій для персоналу.

Одним із перспективних напрямів удосконалення технічного сервісу є механізація та автоматизація ремонтно-обслуговуючих операцій. Використання спеціалізованих пристроїв для діагностики, підйомно-транспортного обладнання, автоматизованих систем подачі інструменту та засобів контролю дозволяє суттєво знизити фізичне навантаження на працівників і підвищити безпечність виконання технологічних операцій. Крім того, автоматизація окремих процесів зменшує вплив людського фактору, який часто є причиною аварій та нещасних випадків.

Сучасні умови також вимагають підвищеної уваги до психологічної безпеки працівників. Постійний стрес, нестабільність та тривала дія негативних факторів воєнного часу можуть призводити до зниження концентрації уваги, погіршення працездатності та збільшення кількості помилок під час виконання сервісних робіт. Саме тому важливим завданням керівників підприємств є створення безпечного виробничого середовища, підтримання належного морально-психологічного клімату та організація ефективної системи інформування персоналу про можливі небезпеки [4].

Отже, цивільний захист у сучасних умовах є невід'ємною складовою системи технічного сервісу. Ефективне поєднання заходів охорони праці, сучасних технологій діагностики та організації дій персоналу в надзвичайних ситуаціях забезпечує безпечне функціонування підприємств, зниження рівня виробничих ризиків та підвищення надійності техніки. У реаліях сьогодення

питання безпеки праці та цивільного захисту стають одним із ключових чинників стабільної роботи агропромислового виробництва та технічного сервісу.

Список використаних джерел

1. НПАОП 0.00-1.62-12. Правила охорони праці на автомобільному транспорті. Київ: Держгірпромнагляд України, 2012. 115 с.
2. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Українська академія друкарства, 2019. 336 с.
3. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 № 5403-VI. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17>
4. Гунько І.В., Бендера І.М. Безпека праці в агропромисловому виробництві. Київ: Центр учбової літератури, 2021. 384 с.

Жук А.О.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра
e-mail: andrii.zhuk@st.pdau.edu.ua

Дудник В.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: volodymyr.dudnyk@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ТЕХНОГЕННІ АВАРІЇ НА ВИРОБНИЦТВІ

Сучасне машинобудування та аграрний сервіс характеризуються широким використанням складного технологічного обладнання, енергетичних установок, транспортних засобів і автоматизованих систем. Поряд із підвищенням продуктивності праці це створює потенційну небезпеку виникнення техногенних аварій, які можуть призводити до значних матеріальних збитків, порушення виробничих процесів, травмування персоналу та негативного впливу на навколишнє середовище.

Техногенні аварії на виробництві це небезпечні події, спричинені порушенням роботи технічних систем, обладнання або технологічних процесів. Найпоширенішими причинами їх виникнення є зношеність машин і механізмів, недотримання правил охорони праці, помилки персоналу, недостатній контроль технічного стану обладнання, а також порушення технологічної дисципліни.

Станом на 2025 рік, техногенні небезпеки в галузях машинобудування та аграрному сервісу в Україні залишаються високими через поєднання зношеності обладнання, впливу воєнних дій та недотримання правил безпеки. Агропромисловий комплекс (АПК) та машинобудування стабільно входять до переліку галузей із найвищим рівнем виробничого травматизму.

Наприклад, згідно статистичних даних ДСНС України кількість пожеж на виробничих об'єктах за 2025 рік збільшилася з 819 до 1406 та на об'єктах сільськогосподарського призначення з 178 до 344 випадків [1].

Згідно матеріалів звітності Держпраці України можна виділити такі причини виникнення небезпек [2]:

в машинобудуванні:

- технічні причини (11-22% випадків): несправність верстатів, конструктивні недоліки обладнання, відсутність захисних загороджень на механізмах.

- виробничі фактори: робота з металообробними верстатами, вантажопідіймальними механізмами, небезпека ураження електричним струмом, дія високих температур при зварюванні;

- організаційні та психофізіологічні причини (60-90% випадків): невиконання інструкцій з охорони праці, низька кваліфікація, в тому, робота в обмеженому просторі;

в аграрному сервісі:

- травмування рухомими частинами техніки: трактори, комбайни, сільськогосподарські машини є основними джерелами небезпеки, особливо при обслуговуванні чи ремонті;

- використання застарілої техніки: більшість тракторів (до 75% у деяких регіонах) мають значний термін експлуатації, що знижує їхню безпечність;

- хімічні та екологічні ризики: робота з пестицидами та добривами (31,1% серед загроз в агросекторі), дія шуму та вібрації.

- ризики, пов'язані з війною: пошкодження обладнання, вибухонебезпечні предмети, обмежені ресурси для оновлення безпекових систем.

Для зниження ризику техногенних аварій необхідно впроваджувати комплекс профілактичних заходів. До них належать: регулярне технічне обслуговування обладнання, своєчасна заміна зношених деталей, автоматизація небезпечних процесів та систем безпеки (emergency stops), проведення інструктажів та навчання працівників з питань безпеки, використанні засобів індивідуального захисту, а також використання сучасних систем контролю й діагностики. Важливу роль відіграє дотримання вимог охорони праці та виробничої безпеки.

Отже, проблема техногенних аварій на виробництві є актуальною для підприємств машинобудування та аграрного сервісу. Підвищення рівня технічної безпеки, модернізація обладнання, автоматизація систем безпеки та вдосконалення організації праці сприятимуть зменшенню аварійності, підвищенню ефективності виробництва та збереженню життя і здоров'я працівників.

Список використаних джерел

1. Державна служба України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://www.dsns.gov.ua/>.

2. Державна служба України з питань праці. URL: <http://dsp.gov.ua/>.

Ніколаєнко А.Р.,

здобувач вищої освіти ступеня магістра
e-mail: *artem.nikolaienko@st.pdau.edu.ua*

Дудник В.В.,

канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри
механічної та електричної інженерії
e-mail: *volodymyr.dudnyk@pdau.edu.ua*

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

НЕБЕЗПЕКИ В ТЕХНІЧНОМУ СЕРВІСІ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Сучасний агропромисловий комплекс характеризується широким використанням механізованої та автоматизованої техніки. Ефективність її роботи значною мірою залежить від якісного технічного сервісу, який включає технічне обслуговування, діагностування та ремонт машин. Водночас процес виконання сервісних робіт супроводжується впливом небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що можуть призводити до травмування працівників та професійних захворювань [1].

Технічний сервіс у агропромисловому комплексі має свої особливості, оскільки роботи часто виконуються в ремонтних майстернях або безпосередньо в польових умовах. Працівники контактують із рухомими деталями машин, підймальними механізмами, електрообладнанням, паливно-мастильними матеріалами та технологічними рідинами, що створює умови для виникнення небезпечних ситуацій [2].

Одними з найбільш поширених є механічні небезпеки. Вони виникають під час роботи з карданними передачами, пасовими та ланцюговими приводами, вентиляторами систем охолодження та іншими обертовими деталями машин. Недотримання правил безпеки може призвести до затягування одягу, травмування рук та інших тяжких наслідків.

Під час демонтажу вузлів і агрегатів застосовуються домкрати, талі та інші вантажопідймальні пристрої. Порушення правил їх експлуатації або несправність обладнання можуть спричинити падіння агрегатів і травмування працівників.

Небезпечними є також роботи з ремонту двигунів внутрішнього згорання. Працівники можуть отримати опіки від нагрітих поверхонь або травми через витік рідин під високим тиском. Значну небезпеку становлять електричні фактори, оскільки в ремонтних майстернях широко використовується електроінструмент, компресори, зварювальні установки та діагностичне обладнання. Пошкодження ізоляції чи відсутність заземлення можуть призвести до ураження електричним струмом [3].

Під час виконання технічного сервісу негативний вплив мають і хімічні фактори. Відпрацьовані гази двигунів, випари бензину, дизельного палива,

мастил та розчинників погіршують стан повітря робочої зони. Під час зварювальних і шліфувальних робіт у повітря потрапляють шкідливі аерозолі та гази, що негативно впливають на органи дихання.

Робота компресорів, верстатів та іншого обладнання супроводжується шумом і вібрацією, які знижують працездатність працівників та можуть стати причиною професійних захворювань [4]. Важливими причинами виробничого травматизму також є недостатня підготовка працівників, порушення технологічної дисципліни та нехтування засобами індивідуального захисту.

Для забезпечення безпечних умов праці необхідно правильно організувати робочі місця, використовувати вентиляцію, справне обладнання та засоби пожежогасіння. Працівники повинні застосовувати спецодяг, захисні окуляри, рукавиці та респіратори. Значну роль відіграють інструктажі та навчання з охорони праці [2].

Перспективним напрямом підвищення безпеки є впровадження автоматизованих систем діагностування та механізованих пристроїв для ремонту техніки. Це дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників та мінімізувати контакт із небезпечними зонами обладнання.

Таким чином, небезпеки в технічному сервісі агропромислового комплексу мають комплексний характер і пов'язані з дією механічних, електричних, термічних, хімічних та санітарно-гігієнічних факторів. Для зниження рівня виробничого травматизму необхідно забезпечувати дотримання вимог охорони праці, використовувати сучасні засоби захисту та впроваджувати новітні технології технічного сервісу. Це сприятиме підвищенню безпеки праці, надійності роботи техніки та ефективності діяльності підприємств агропромислового комплексу.

Список використаних джерел

1. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник. Львів: Афіша, 2014. 336 с.
2. Березуцький В.В. Охорона праці в галузі: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2018. 552 с.
3. Пістун І.П. Охорона праці в сільському господарстві: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2019. 456 с.
4. Кружилко О.Є. Управління ризиками в системах охорони праці: монографія. Київ: Основа, 2017. 312 с.



Опара Н.М.канд. сільськогосп. наук, доцент, професор
кафедри механічної та електричної інженерії

e-mail: nadiia.opara@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

АНАЛІЗ ПРИЧИННО-НАСЛІДКОВИХ ЗВ'ЯЗКІВ ВИНИКНЕННЯ РИЗИКІВ В СУЧАСНІЙ ІНЖЕНЕРНІЙ ДІЯЛЬНОСТІ

Безпека життєдіяльності, екологічна безпека і охорона праці складають єдиний комплекс інженерного захисту людини і оточуючого середовища від небезпечних і шкідливих факторів.

В інженерній діяльності цей комплекс реалізується через принцип «безпеки при проєктуванні» (Safety by Design) і керування ризиками на усіх стадіях життєвого циклу технічних систем.

Безпека життєдіяльності вивчає захист людини в виробничому і побутовому середовищі.

1. Ергономіка – адаптація машин і робочих місць до психофізіологічних можливостей людини.

2. Надзвичайні ситуації – розробка планів по запобіганню вибухів, пожеж, техногенних аварій.

3. Промислова безпека – безпека експлуатації небезпечних виробничих об'єктів.

Екологічна безпека в інженерії забезпечує мінімізацію шкідливого впливу на оточуюче середовище.

1. Екологічна безпека в 2026 році. Ключові тренди – суворе обмеження використання PFAS (вічних хімікатів) в промисловості, нові стандарти EPD (Environmental Product Declaration) для оцінки вуглецевого сліду матеріалів, дотримання норм по керуванню стічними водами і якістю повітря..

2. Екологічна експертиза – перевірка проєктної документації на відповідність екологічним нормам.

3. Раціональне природокористування – використання замкнених циклів водопостачання, зниження викидів парникових газів, утилізація відходів,

Охорона праці в інженерній діяльності.

1. Ієрархія контролю ризиків. В пріоритеті – усунення небезпеки потім – інженерні методи захисту (автоматизація, вентиляція, огороження), і в останню чергу – засоби індивідуального захисту (ЗІЗ).

2. Ідентифікація небезпек – виявлення небезпечних (що призводять до травм) та шкідливих (що призводять до захворювань) факторів.

3. Проєктування – інженери зобов'язані включати заходи безпеки безпосередньо у проєктні рішення, щоб мінімізувати ризики (автоматичні системи відключення, ергономіка).

4. Спеціальна оцінка умов праці (СУОП) – оцінка робочих місць на відповідність нормам.

Важлива роль інженера в системі EHS (Environment, Health, Safety). Він несе персональну відповідальність за стан охорони праці і екологічні наслідки своїх рішень.

1. Аналіз ризиків – регулярне проведення оцінок ризиків на місцях і розробки заходів по їх зниженню.

2. Інтеграція – об'єднання безпеки життєдіяльності, екологічної безпеки та охорони праці в єдину систему менеджменту (наприклад ISO 14001, ISO 45001).

3. Навчання – інженер з охорони праці повинен мати вищу освіту в галузі техносферної безпеки.

У 2026 році очікується посилення міжнародних і національних стандартів, тому проактивна інтеграція EHS в інженерні проекти стає обов'язковою умовою для стійкого розвитку бізнесу. Особливості технологічних процесів, різноманіття обладнання яке застосовується, специфіка виробництва – обумовлюють різноманіття принципів забезпечення безпеки виробництва.

Забезпечення безпеки – складний процес, в якому можна виділити висхідні положення, елементарні складові, ідеї, що іменовані надалі принципами.

Пізнавальне і теоретичне значення принципів полягає в тому, що з їх допомогою визначаються рівень знань про небезпеки оточуючого світу, і, відповідно, формуються вимоги по проведенню захисних заходів і методи їх розрахунку.

Значення принципів дуже важливо в практичній діяльності, так як принципи дозволяють знаходити оптимальні рішення заходу від небезпек на підставі порівняльного аналізу різноманітних варіантів.

Принципи забезпечення безпеки необхідно розглядати у взаємозв'язку, тобто як елементи, що доповнюють один одного. За ознакою реалізації принципи поділяються на чотири класи: організаційні, орієнтуючі, технічні, управлінські.

1. Організаційні – з допомогою яких реалізуються положення наукової організаційної праці. До них відносяться: принцип ергономічності, компенсації, несумісності, раціональної організації праці..

2. Орієнтуючі – являють собою основоположні ідеї, що визначають напрямок пошуку безпечних рішень і що слугують інформаційною та методологічною базою. До них відносяться принципи деструкції і зниження небезпеки, заміна операторів, інформації, класифікації, нормування, системності.

3. Технічні - спрямовані на безпосереднє попередження дій небезпечних факторів і засновані на використанні фізичних законів. До них відносять: принципи деструкції і зниження небезпеки, заміни операторів, інформації, класифікації, нормування, системності.

4. Управлінські - визначають взаємозв'язок, взаємодію і відношення між окремими стадіями і етапами процесу забезпечення безпеки. До них відносять: принципи адекватності та однозначності, відповідальності, ефективності,

ієрархічності, керування, контролю, обов'язковості зворотного зв'язку, підбору кадрів, стимулювання.

Деякі принципи відносяться до деяких класів одночасно, утворюючи систему. В той же час, кожний принцип має відносну самостійність. Методи забезпечення безпеки виробничих процесів основані на застосуванні принципів забезпечення безпеки. Методами (способами) здійснюється конструктивне і технічне втілення принципів в реальній дійсності.

Розрізняють наступні методи забезпечення безпеки:

1. «А» - метод, що складається в просторовому або часовому розділенні гомосфери (людина) і ноксосфери (виробництво), який реалізується при механізації і автоматизації виробничих процесів, використанні маніпуляторів і роботів різних поколінь, дистанційному керуванні обладнанням.

2. «В» - метод, що ґрунтується на застосуванні принципів безпеки до вдосконалення виробничої сфери (ноксосфери), а також на приведенні характеристик ноксосфери у відповідність з характеристиками людини. В – метод, зокрема, реалізується при створенні безпечної техніки. В тих випадках, коли метод «А» і «В» не забезпечують досягнення рівня безпеки, який вимагається, застосовується метод «С».

3. «С» - метод, його суть полягає в підвищенні захисних властивостей людини при комбінації відповідних заходів захисту, в адаптації людини до ноксосфери (інструктування, застосування засобів індивідуального захисту, навчання).

4. «D» - метод, в різноманітних умовах і ситуаціях не завжди вдається забезпечити необхідний рівень безпеки за допомогою одного з вказаних методів. В такому випадку вказані методи застосовуються в тому чи іншому поєднанні. Тому комбінований метод забезпечення безпеки можна назвати методом – «D», який має найбільше розповсюдження.

При виконанні методів і принципів забезпечення безпеки використовують різні засоби захисту. Засоби захисту працюючих поділяються на засоби індивідуального захисту (ЗІЗ) і колективного захисту (ЗКЗ).

За технічним використанням засоби колективного захисту (ЗКЗ) можуть бути поділені на групи: огорожуючі, блокуючі, гальмівні, запобіжні прилади світлової та звукової сигналізації, прилади безпеки, сигнальні кольори, знаки безпеки, прилади автоматичного контролю, дистанційного керування, заземлення і занулення, вентиляції, опалення, кондиціонування, освітлення, ізолюючі, герметизуючі.

До засобів індивідуального захисту відносять: гідроізолюючі костюми і скафандри, протигази і респіратори, пневмошоломи і пневмокаскаси, різноманітні види одягу та взуття, рукавиці, перчаточки, каски, шоломи, навушники, захисні окуляри, запобіжні пояси, захисні дерматологічні засоби і препарати.

Засоби захисту повинні відповідати вимогам ергономіки та естетики і забезпечувати нормальні умови для діяльності людини. В той же час, при використанні ЗІЗ необхідно враховувати технічне нормування, так як багато ЗІЗ створюють певні незручності і ведуть до зниження працездатності людини.

Список використаних джерел

1. Войналович О.В., Марчишина Є.І. Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: навчальний підручник для студентів вищих навчальних закладів зі спеціальності «Агроінженерія». Київ: Центр учбової літератури, 2021 р. 691 с.
2. Войналович О.В., Голопура. Охорона праці в галузі (організаційно-технічні аспекти): посібник для підготовки фахівців ОС «Магістр» спеціальності «Транспортні технології (автомобільний транспорт)». Київ: Центр учбової літератури, 2020 р. 250 с.
3. Гнатюк О.А., Войналович О.В. Професійний ризик на механізованих процесах в агропромисловому комплексі України: монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2020 280 с.



СЕКЦІЯ 7

Підготовка фахівців інженерного профілю: сучасні підходи та освітні інновації

Япринець Т. С.,

канд. пед. наук, доцент, доцент кафедри
будівництва та професійної освіти,
e-mail: tetiana.yaprynets@pdau.edu.ua,

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

РОЗВИТОК ЕМОЦІЙНОГО ІНТЕЛЕКТУ МАЙБУТНІХ ІНЖЕНЕРІВ У КОНТЕКСТІ КОМПЕТЕНТНІСНОГО ПІДХОДУ

Сучасна інженерна освіта функціонує в умовах динамічних технологічних змін, цифровізації виробничих процесів і зростання ролі міждисциплінарної взаємодії, що зумовлює необхідність системного оновлення підходів до підготовки фахівців. У цих умовах особливої актуальності набуває переорієнтація освітнього процесу від передачі готових знань до формування здатності здобувачів вищої освіти застосовувати їх у професійній діяльності. Одним із ключових напрямів модернізації інженерної освіти є впровадження компетентнісного підходу, який передбачає інтеграцію знань, умінь, навичок, цінностей і досвіду діяльності, що забезпечують готовність випускника до ефективного виконання професійних функцій [1]. Емоційний інтелект визначається як здатність особистості усвідомлювати, розуміти та регулювати власні емоції, а також адекватно сприймати емоційні стани інших і вибудовувати ефективну взаємодію. Для інженерної діяльності це має принципове значення, оскільки сучасний інженер працює в умовах колективної діяльності, бере участь у реалізації складних проєктів, здійснює професійну комунікацію з різними групами стейкхолдерів, приймає рішення в умовах невизначеності та несе відповідальність за їх наслідки. Таким чином, поряд із технічною підготовкою дедалі більшої ваги набувають особистісні та соціально-комунікативні характеристики фахівця.

У структурі професійної компетентності майбутнього інженера емоційний інтелект доцільно розглядати як інтегративний компонент, що забезпечує ефективну реалізацію як загальних, так і фахових компетентностей. Він виступає своєрідним механізмом узгодження когнітивної та поведінкової складових професійної діяльності [2]. Зокрема, емоційний інтелект проявляється через здатність до ефективною командної взаємодії, конструктивного вирішення професійних ситуацій, у тому числі конфліктних, а також через уміння забезпечувати продуктивну комунікацію й узгодження рішень у процесі спільної діяльності. Відповідно, його розвиток сприяє підвищенню ефективності професійної діяльності інженера та якості прийняття інженерних рішень.

З дидактичної точки зору розвиток емоційного інтелекту не може розглядатися як ізольований процес, відокремлений від змісту фахової підготовки, а має реалізовуватися через інтеграцію відповідних педагогічних умов, методів і форм організації навчання. У цьому контексті доцільним є застосування діяльнісного та контекстного підходів, які передбачають моделювання професійних ситуацій і залучення здобувачів до активної пізнавальної та практичної діяльності. Особливу ефективність демонструють *problem-based learning*, проєктно-орієнтоване навчання, кейс-методи, ділові ігри, а також організація роботи в малих групах. Зазначені методи створюють умови для розвитку навичок взаємодії, саморегуляції, емпатії, відповідальності та прийняття рішень у складних ситуаціях.

Важливим дидактичним аспектом є також забезпечення рефлексивної складової освітнього процесу. Рефлексія як педагогічний механізм дозволяє здобувачам усвідомлювати власні дії, аналізувати емоційні реакції, оцінювати ефективність комунікації та коригувати стратегії поведінки. Її організація може здійснюватися через обговорення результатів виконання завдань, самооцінювання, взаємооцінювання, ведення рефлексивних щоденників, що сприяє формуванню здатності до саморозвитку та безперервного професійного зростання [3].

Залучення здобувачів вищої освіти до розв'язання реальних або наближених до реальних інженерних завдань забезпечує формування не лише професійних знань і вмінь, а й розвиток здатності до ефективної комунікації, аргументації власної позиції, врахування альтернативних точок зору та прийняття колективних рішень. У таких умовах відбувається інтеграція когнітивного, діяльнісного та особистісного компонентів навчання, що відповідає сучасним вимогам до підготовки фахівців інженерного профілю.

Водночас важливим аспектом реалізації компетентнісного підходу є оцінювання рівня сформованості емоційного інтелекту у здобувачів вищої освіти. На відміну від традиційних результатів навчання, які підлягають кількісному вимірюванню, емоційний інтелект має комплексний і динамічний характер, що зумовлює необхідність використання поєднання різних діагностичних підходів. Доцільним є застосування спостереження за діяльністю здобувачів у групових формах роботи, аналізу їхньої участі в командних проєктах, самооцінювання та взаємооцінювання, а також виконання ситуаційних завдань. Це дозволяє не лише визначити рівень сформованості відповідних умінь, а й відстежити динаміку їх розвитку в процесі професійної підготовки.

Отже, розвиток емоційного інтелекту в контексті компетентнісного підходу є важливим напрямом підвищення якості інженерної освіти. Його реалізація потребує цілеспрямованого дидактичного забезпечення, інтеграції активних і практикоорієнтованих методів навчання, а також створення освітнього середовища, орієнтованого на взаємодію, рефлексію та професійне зростання. Це сприятиме формуванню конкурентоспроможного фахівця, здатного ефективно діяти в умовах сучасного виробництва та адаптуватися до викликів професійної діяльності.

Список використаних джерел

1. Про вищу освіту : Закон України від 01.07.2014 № 1556-VII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/1556-18> (дата звернення: 14.04.2026).
2. Гулич М. М. Компетентнісний підхід як ознака якості освіти у сучасній вищій школі. *Інноваційна педагогіка*. 2020. № 23, т. 2. С. 20–22. URL: <https://surl.li/kplart> (дата звернення: 16.04.2026).
3. Кірсанов І. Можливості та проблеми у вивченні емоційного інтелекту у вищій освіті. *Теорія і практика управління соціальними системами: філософія, психологія, педагогіка, соціологія*. 2024. № 3. С. 129–142. URL: <https://surl.li/tszubn> (дата звернення: 16.04.2026).

Горюнов Б.О.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту
e-mail: bohdan.horiunov@pdau.edu.ua

Титаренко В.Є.

здобувачка вищої освіти
*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ІНЖЕНЕРНОЇ ОСВІТИ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій цифровізація стала одним із ключових напрямів модернізації системи вищої освіти. Особливого значення вона набуває у сфері підготовки майбутніх інженерів, оскільки технічні спеціальності потребують поєднання фундаментальних знань, практичних навичок і здатності працювати з сучасними цифровими інструментами. Цифровізація інженерної освіти сприяє підвищенню якості навчального процесу, його гнучкості, доступності та відповідності вимогам сучасного ринку праці.

Одним із важливих напрямів є використання цифрових платформ у підготовці майбутніх інженерів. Освітні онлайн-платформи забезпечують доступ до навчальних матеріалів, інтерактивних курсів, відеолекцій, тестових завдань та засобів комунікації між викладачами і студентами. Завдяки таким ресурсам здобувачі освіти можуть опановувати матеріал у зручному темпі, повторювати складні теми та отримувати оперативний зворотний зв'язок. Крім того, цифрові платформи створюють умови для персоналізації навчання, що особливо важливо для студентів технічних спеціальностей із різним рівнем підготовки [1].

Вагому роль у формуванні професійних компетентностей студентів технічних спеціальностей відіграють онлайн-лабораторії. Вони дають можливість моделювати технічні процеси, виконувати віртуальні експерименти та відпрацьовувати практичні навички без потреби у дорогому обладнанні чи спеціальних лабораторних приміщеннях. Онлайн-лабораторії особливо ефективні під час вивчення електротехніки, автоматизації, механіки,

програмування та робототехніки. Їх використання сприяє розвитку аналітичного мислення, навичок прийняття технічних рішень і здатності працювати з цифровими моделями реальних виробничих систем.

Суттєвим елементом цифрової трансформації є інтеграція LMS-систем у навчальний процес інженерних спеціальностей. Системи управління навчанням дозволяють організувати освітній процес у єдиному цифровому середовищі, де зосереджені навчальні курси, календарі занять, завдання, оцінювання та аналітика успішності студентів. Використання LMS забезпечує прозорість навчального процесу, спрощує адміністрування дисциплін і підвищує ефективність взаємодії між усіма учасниками освітнього процесу. Для інженерної освіти це особливо важливо, оскільки дає змогу інтегрувати теоретичні матеріали з практичними кейсами, симуляціями та проектною діяльністю [2].

Водночас важливим питанням залишається вплив дистанційного навчання на якість підготовки інженерів. Дистанційний формат відкриває широкі можливості для доступу до освіти незалежно від місця перебування студента, дозволяє залучати міжнародні ресурси та викладачів, а також розвивати навички самоорганізації. Однак надмірне використання лише дистанційної форми може знижувати рівень практичної підготовки, особливо у тих дисциплінах, де необхідна робота з реальним обладнанням. Тому найбільш доцільним підходом є поєднання дистанційних технологій із традиційним аудиторним і лабораторним навчанням у форматі змішаного навчання.

Окремої уваги заслуговує використання мобільних застосунків у технічній освіті. Сучасні мобільні додатки дозволяють студентам працювати з кресленнями, виконувати інженерні розрахунки, проходити тестування, користуватися довідковими матеріалами та брати участь у навчальних проєктах у будь-який час. Мобільні технології сприяють безперервності навчання, підвищують мотивацію студентів та розширюють можливості самостійної роботи [3].

Отже, цифровізація інженерної освіти є необхідною умовою підготовки конкурентоспроможних фахівців, здатних ефективно працювати в умовах цифрової економіки. Використання цифрових платформ, онлайн-лабораторій, LMS-систем, дистанційного навчання та мобільних застосунків забезпечує нову якість освітнього процесу, формує сучасні професійні компетентності майбутніх інженерів і створює передумови для подальшого розвитку технічної освіти.

Список використаних джерел

1. UNESCO. Reimagining our futures together: A new social contract for education. Paris : UNESCO, 2021. 184 p.
2. European Commission. Digital Education Action Plan 2021–2027. Brussels : European Commission, 2020. 96 p.
3. Bates A.W.. Teaching in a Digital Age : Guidelines for Designing Teaching and Learning. 2nd ed. Vancouver : BCcampus, 2019. 520 p.

Лапенко Г.О.,

канд. техн. наук, доцент, професор кафедри
агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: grygorii.lapenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна,*

Конотоп О.В.,

директор Полтавської філії групи компаній «ТЕХНОТОРГ»,
м. Полтава, Україна,

Лазоренко А.І.,

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: andrii.lazorenko@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет,
м. Полтава, Україна*

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВЗАЄМОВИГІДНОЇ СПІВПРАЦІ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТА ДИЛЕРСЬКИХ ФІРМ

Аналізуючи взаємовідносини між закладами вищої освіти та виробниками сільськогосподарської техніки, дилерськими фірмами, а також безпосередньо керівниками агропромислових підприємств, слід окреслити позиції обох сторін. Представники виробничої сфери традиційно очікували від навчальних закладів підготовки кваліфікованого, ініціативного випускника з глибокими фаховими знаннями. Зі свого боку, заклади вищої освіти зверталися до роботодавців щодо надання бази для проходження практики з метою покращення практичної підготовки здобувачів вищої освіти. Такий підхід до вирішення спільних проблем не забезпечував комплексного розуміння стратегії вдосконалення як теоретичної, так і практичної підготовки інженерних кадрів для агропромислового комплексу України.

На багатьох науково-практичних конференціях, симпозіумах та виставках зазначена проблема обговорювалася, звучали різноманітні пропозиції щодо вдосконалення взаємодії між ЗВО та представниками виробництва. Головною ідеєю покращеної співпраці є зацікавленість обох сторін у підготовці висококваліфікованих фахівців.

Полтавський державний аграрний університет, зокрема його інженерно-технологічний факультет, розробив стратегію взаємовигідної співпраці науковців та фахівців агропромислових підприємств, яка передбачає укладання відповідних договорів. Згідно з ними, підприємства зобов'язуються виконати будівельно-монтажні роботи у відповідних аудиторіях, встановити обладнання та надати навчальні макети для вивчення конструкції, технологічних і експлуатаційних особливостей роботи машин та агрегатів. Протягом останніх років успішно реалізується співпраця між інженерно-технологічним факультетом ПДАУ та ТОВ «Агрістар», Полтавською філією Групи компаній

«ТЕХНОТОРГ» і ТОВ «Ін Форс Груп». Проаналізуємо основні елементи співпраці на прикладі зазначених компаній.

ТОВ «Агрістар» - дилер передових світових виробників сільськогосподарської техніки. Основним напрямком роботи компанії є продаж та обслуговування техніки John Deere, Väderstad, Monosem та ін. Велика увага приділяється технологіям точного землеробства, у тому числі приладам навігації, моніторингу та збору інформації щодо внесення добрив та врожайності. Для забезпечення функціонування даних технологій, оператор сільськогосподарської техніки повинен знати та вміти використовувати AutoTrac™, Section Control та інші основні функції роботи навігаційних пристроїв John Deere. Крім того, сьогодні широко використовується система моніторингу сільськогосподарської техніки та віддаленого підключення через систему JD Link™. Завдяки цьому можуть надаватися рекомендації щодо оптимізації продуктивності та забезпечення підтримки в полі під час налаштування машини через дистанційний доступ до дисплея.[1]

Працівники ТОВ «Агрістар», серед яких немало випускників Університету, регулярно проводять практичні заняття як на власній базі, так і на території інженерно-технологічного факультету, де ознайомлюють здобувачів вищої освіти зі згаданими технологіями. Крім того, студенти мають можливість обрати ТОВ «Агрістар» базою виробничої або переддипломної практики.

Вже більше трьох років діє договір про співпрацю між Полтавським державним аграрним університетом та Полтавською філією Групи компаній «ТЕХНОТОРГ». Основним напрямком діяльності компанії є експертні продажі, спрямовані на забезпечення аграріїв з 17 областей України високоякісною імпортною технікою та інноваційними рішеннями для підвищення продуктивності господарств. На сьогодні компанія вже сформувала портфель продукції, представлений провідними світовими брендами: CASE IH, KUHN, TESCNOМА та ін. Ефективність реалізації техніки в регіонах забезпечена оперативним опрацюванням запитів клієнтів, індивідуальним підбором умов співпраці, професійним менеджментом продажів та врахуванням специфіки кожного регіонального ринку.[2, 3]

У межах співпраці задля підготовки висококваліфікованих кадрів передбачається: ознайомлення здобувачів вищої освіти із сучасною сільськогосподарською технікою та технологічними рішеннями, проходження студентами практик, проведення спільних навчальних та профільних заходів, залучення фахівців до освітнього процесу.

Плідна співпраця склалася між інженерно-технологічним факультетом та ТОВ «Ін Форс Груп». Компанія є офіційним дистриб'ютором сільськогосподарської техніки Massey Ferguson, BEDNAR, Maschio Gaspardo, EGRITECH у Полтавській та інших областях України.[4]

За ініціативи компанії, моделями сільськогосподарських агрегатів обладнано навчальну аудиторію на інженерно-технологічному факультеті. Також якість підготовки майбутніх інженерів підвищується за рахунок безпосередньої участі працівників компанії у навчальному процесі.

Загалом, розглянуті напрямки розвитку співпраці забезпечують тісну взаємодію між навчальним закладом та роботодавцями задля підвищення якості підготовки фахівців агропромислового комплексу України.

Список використаних джерел

1. ТОВ «Агрістар» : веб-сайт. URL: <https://agristar.com.ua/ukr/> (дата звернення: 11.05.2026).
2. Лапенко Т.Г., Лапенко Г.О., Конотоп О.В. Покращення забезпечення технічними засобами агропромислового комплексу України через систему дилерських підприємств. *Новітні технології в АПК: проблеми та перспективи впровадження* : матеріали IV Всеукр. науково-практ. інтернет-конф., м. Полтава, 27 черв. 2024 р. Полтава, 2024. С. 24–27.
3. Лапенко Г.О., Лапенко Т.Г., Конотоп О.В. Аналіз факторів, які впливають на покращення забезпечення технікою агропромислових підприємств дилерськими фірмами. *Новітні технології в АПК: проблеми та перспективи впровадження* : матеріали V Всеукр. науково-практ. інтернет-конф., м. Полтава, 24 черв. 2025 р. Полтава, 2025. С. 53–55.
4. ТОВ «Ін Форс Груп» : веб-сайт. URL: <https://in-force.group/> (дата звернення: 11.05.2026).

Бабич Я.В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Чумак М.В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м.Полтава, Україна*

ІМПЛЕМЕНТАЦІЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В РОЗРІЗІ ПІДГОТОВКИ АГРОІНЖЕНЕРІВ АПК

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України супроводжується активною цифровізацією виробничих процесів, впровадженням автоматизованих систем управління та використанням інноваційного програмного забезпечення для підвищення ефективності аграрного виробництва. У таких умовах особливої актуальності набуває підготовка висококваліфікованих агроінженерів, здатних працювати із сучасними цифровими технологіями, аналізувати виробничі процеси та забезпечувати ефективну експлуатацію технічних засобів у сільському господарстві.

Імплементация програмного забезпечення у профіль підготовки агроінженерів є важливим етапом модернізації системи аграрної освіти. Використання цифрових платформ і спеціалізованих програмних продуктів у навчальному процесі дозволяє значно підвищити рівень професійної компетентності

здобувачів освіти, сформувати практичні навички роботи з сучасними інформаційними технологіями та забезпечити адаптацію майбутніх фахівців до вимог сучасного ринку праці.

Одним із ключових напрямів цифровізації аграрної освіти є використання програмного забезпечення для систем точного землеробства. Такі системи забезпечують автоматизоване керування технологічними процесами, моніторинг стану посівів, аналіз урожайності та оптимізацію витрат матеріально-технічних ресурсів. У процесі підготовки агроінженерів доцільним є використання програмних продуктів для картографування полів, аналізу ґрунтів та супутникового моніторингу.

Наприклад, сучасні аграрні підприємства України активно використовують програмні комплекси типу Trimble, Climate FieldView, John Deere Operations Center та Cropwise Operations. За допомогою таких систем агроінженери в реальному часі отримують інформацію про вологість ґрунту, стан рослин, рівень внесення добрив і продуктивність сільськогосподарської техніки в режимі реального часу. Практичне ознайомлення здобувачів із принципами роботи цих програм сприяє формуванню професійних навичок цифрового аналізу аграрного виробництва.

Важливим елементом професійної підготовки є також використання програм автоматизованого проєктування та моделювання технічних систем. У процесі навчання агроінженерів широко застосовуються САД-системи, зокрема AutoCAD та SolidWorks, які дозволяють моделювати конструкції машин, створювати технічну документацію та аналізувати параметри роботи обладнання.

Наглядним прикладом ефективності використання програмного забезпечення є моделювання робочих органів ґрунтообробних машин. За допомогою SolidWorks студенти можуть створити тривимірну модель культиваторної лапи, провести аналіз навантажень та визначити оптимальні параметри конструкції. Це дозволяє не лише покращити розуміння принципів роботи техніки, а й сформувати навички інженерного аналізу та проєктування.

Особливого значення в умовах цифрової трансформації набуває використання програмного забезпечення для діагностики та моніторингу технічного стану машинно-тракторного парку. Сучасна сільськогосподарська техніка обладнується електронними системами контролю, які дозволяють здійснювати постійний моніторинг роботи двигуна, витрат пального, температурних режимів та інших експлуатаційних показників.

На практиці аграрні підприємства України впроваджують телематичні системи моніторингу техніки, що забезпечують контроль місцезнаходження машин, облік робочого часу та ефективності використання технічних ресурсів. Наприклад, використання GPS-моніторингу дозволяє зменшити непродуктивні витрати пального на 10–15 % та підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку. У навчальному процесі застосування подібних систем сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти навичок роботи з цифровими платформами управління технічними ресурсами.

Окрему увагу слід приділити використанню симуляторів та віртуальних лабораторій у підготовці агроінженерів. Сучасні комп'ютерні тренажери дозволяють моделювати процеси експлуатації техніки, налаштування обладнання та виконання технологічних операцій без необхідності використання реальних машин. Це особливо актуально в умовах обмеженого доступу до дорогої високотехнологічної техніки. Наприклад, використання віртуальних симуляторів тракторів та зернозбиральних комбайнів дозволяє студентам відпрацьовувати навички керування технікою, налаштування навісного обладнання та оптимізації режимів роботи агрегатів. Такі технології сприяють зниженню ризику помилок під час практичної роботи та підвищують рівень професійної підготовки майбутніх фахівців.

На теренах України цифровізація аграрного сектору активно підтримується державними програмами та діяльністю провідних аграрних компаній. У багатьох закладах вищої освіти створюються навчально-практичні центри цифрового землеробства, оснащені сучасним програмним забезпеченням і технічними засобами. Співпраця університетів із виробниками сільськогосподарської техніки та ІТ-компаніями дозволяє інтегрувати сучасні цифрові рішення безпосередньо в освітній процес.

Важливим аспектом імплементації програмного забезпечення є розвиток цифрових компетентностей викладачів і студентів. Сучасний агроінженер повинен володіти навичками роботи з інформаційними системами, аналізу даних, цифрового моделювання та автоматизованого управління виробничими процесами. Застосування інноваційного програмного забезпечення формує у здобувачів професійні компетентності, серед яких можемо виділити такі:

1. Інженерна аналітика - здатність використовувати комп'ютерні методи для інженерних розрахунків та технічного моделювання;
2. Інноваційна компетентність - готовність працювати з інноваційними агротехнологіями та цифровими інструментами;
3. Керування виробництвом - здатність оптимізувати роботу АПК за допомогою спеціалізованого ПЗ.

Отже, імплементація програмного забезпечення у профіль підготовки агроінженерів АПК є необхідною умовою модернізації аграрної освіти та розвитку сучасного агропромислового виробництва. Ефективне поєднання технічних, технологічних і людських аспектів цифровізації створює передумови для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, оптимізації використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору України. Саме інтеграція сучасного програмного забезпечення, інноваційних технологій та якісної професійної підготовки фахівців сприятиме формуванню нового покоління агроінженерів, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації агропромислового комплексу.

Список використаних джерел

1. Мельник І. І. *Інженерія та технології агропромислового виробництва* : підручник. Київ : Аграрна освіта, 2022. 412 с.
2. Сидоренко В. М. Цифровізація аграрного сектору та сучасні інформаційні технології в агроінженерії. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 33–41.
3. Бондаренко П. С., Кравченко О. П. Використання програмного забезпечення у підготовці агроінженерів. *Вісник агроінженерії*. 2024. № 2. С. 18–26.
4. Курсов С. В. Імплементація CAD/CAM-систем у професійну підготовку інженерів аграрного профілю. *Інженерія природокористування*. 2023. № 1(25). С. 52–58.
5. *Precision Agriculture and Digital Farming Technologies*. Rome : FAO, 2023. URL: <https://www.fao.org>.
6. Сидоренко В. М. Інноваційні технології в технічному сервісі сільськогосподарської техніки. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 35–41.

Бабич Я.В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: babych.yaroslav@pdau.edu.ua

Чумак М.В.

асистент кафедри агроінженерії та автомобільного транспорту,
e-mail: maryna.chumak@pdau.edu.ua

*Полтавський державний аграрний університет
м. Полтава, Україна*

ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СИСТЕМІ ПІДГОТОВКИ ФАХІВЦІВ АГРОІНЖЕНЕРНОГО ПРОФІЛЮ

Сучасний розвиток агропромислового комплексу України супроводжується активною цифровізацією виробничих процесів, впровадженням автоматизованих систем управління та використанням інноваційного програмного забезпечення для підвищення ефективності аграрного виробництва. У таких умовах особливої актуальності набуває підготовка висококваліфікованих агроінженерів, здатних працювати із сучасними цифровими технологіями, аналізувати виробничі процеси та забезпечувати ефективну експлуатацію технічних засобів у сільському господарстві.

Імплементація програмного забезпечення у профіль підготовки агроінженерів є важливим етапом модернізації системи аграрної освіти. Використання цифрових платформ і спеціалізованих програмних продуктів у навчальному процесі дозволяє значно підвищити рівень професійної компетентності здобувачів освіти, сформувати практичні навички роботи з

сучасними інформаційними технологіями та забезпечити адаптацію майбутніх фахівців до вимог сучасного ринку праці.

Одним із ключових напрямів цифровізації аграрної освіти є використання програмного забезпечення для систем точного землеробства. Такі системи забезпечують автоматизоване керування технологічними процесами, моніторинг стану посівів, аналіз урожайності та оптимізацію витрат матеріально-технічних ресурсів. У процесі підготовки агроінженерів доцільним є використання програмних продуктів для картографування полів, аналізу ґрунтів та супутникового моніторингу.

Наприклад, світові аграрні підприємства активно використовують програмні комплекси типу Trimble, Climate FieldView, John Deere Operations Center та Cropwise Operations. За допомогою таких систем агроінженери отримують інформацію про вологість ґрунту, стан рослин, рівень внесення добрив і продуктивність сільськогосподарської техніки в режимі реального часу. Практичне ознайомлення здобувачів із принципами роботи цих програм сприяє формуванню професійних навичок цифрового аналізу аграрного виробництва [1].

Важливим елементом професійної підготовки є також використання програм автоматизованого проектування та моделювання технічних систем. У процесі навчання агроінженерів широко застосовуються САД-системи, зокрема AutoCAD та SolidWorks, які дозволяють моделювати конструкції машин, створювати технічну документацію та аналізувати параметри роботи обладнання. Наглядним прикладом ефективності використання програмного забезпечення є моделювання робочих органів ґрунтообробних машин. За допомогою SolidWorks студенти можуть створити тривимірну модель культиваторної лапи, провести аналіз навантажень та визначити оптимальні параметри конструкції. Це дозволяє не лише покращити розуміння принципів роботи техніки, а й сформуванню навички інженерного аналізу та проектування [2].

Особливого значення в умовах цифрової трансформації набуває використання програмного забезпечення для діагностики та моніторингу технічного стану машинно-тракторного парку. Сучасна сільськогосподарська техніка обладнується електронними системами контролю, які дозволяють здійснювати постійний моніторинг роботи двигуна, витрат пального, температурних режимів та інших експлуатаційних показників [3].

На практиці аграрні підприємства України впроваджують телематичні системи моніторингу техніки, що забезпечують контроль місцезнаходження машин, облік робочого часу та ефективності використання технічних ресурсів. Наприклад, використання GPS-моніторингу дозволяє зменшити непродуктивні витрати пального на 10–15 % та підвищити ефективність використання машинно-тракторного парку. У навчальному процесі застосування подібних систем сприяє формуванню у здобувачів вищої освіти навичок роботи з цифровими платформами управління технічними ресурсами [4].

Окрему увагу слід приділити використанню симуляторів та віртуальних лабораторій у підготовці агроінженерів. Сучасні комп'ютерні тренажери дозволяють моделювати процеси експлуатації техніки, налаштування обладнання та виконання технологічних операцій без необхідності використання реальних машин. Це особливо актуально в умовах обмеженого доступу до дорогої високотехнологічної техніки. Наприклад, використання віртуальних симуляторів тракторів та зернозбиральних комбайнів дозволяє студентам відпрацьовувати навички керування технікою, налаштування навісного обладнання та оптимізації режимів роботи агрегатів. Такі технології сприяють зниженню ризику помилок під час практичної роботи та підвищують рівень професійної підготовки майбутніх фахівців [5].

На теренах України цифровізація аграрного сектору активно підтримується державними програмами та діяльністю провідних аграрних компаній. У багатьох закладах вищої освіти створюються навчально-практичні центри цифрового землеробства, оснащені сучасним програмним забезпеченням і технічними засобами. Співпраця університетів із виробниками сільськогосподарської техніки та ІТ-компаніями дозволяє інтегрувати сучасні цифрові рішення безпосередньо в освітній процес.

Важливим аспектом імплементації програмного забезпечення є розвиток цифрових компетентностей викладачів і студентів. Сучасний агроінженер повинен володіти навичками роботи з інформаційними системами, аналізу даних, цифрового моделювання та автоматизованого управління виробничими процесами. Застосування інноваційного програмного забезпечення формує у здобувачів професійні компетентності, серед яких можемо виділити такі:

4. Інженерна аналітика - здатність використовувати комп'ютерні методи для інженерних розрахунків та технічного моделювання;
5. Інноваційна компетентність - готовність працювати з інноваційними агротехнологіями та цифровими інструментами;
6. Навички керування виробництвом - здатність оптимізувати роботу АПК за допомогою спеціалізованого ПЗ.

Отже, імплементація програмного забезпечення у профіль підготовки агроінженерів АПК є необхідною умовою модернізації аграрної освіти та розвитку сучасного агропромислового виробництва. Ефективне поєднання технічних, технологічних і людських аспектів цифровізації створює передумови для підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва, оптимізації використання ресурсів та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору України. Саме інтеграція сучасного програмного забезпечення, інноваційних технологій та якісної професійної підготовки фахівців сприятиме формуванню нового покоління агроінженерів, здатних ефективно працювати в умовах цифрової трансформації агропромислового комплексу.

Список використаних джерел

1. *Trimble Agriculture: Precision Farming Solutions*. Trimble Inc. 2024. URL: <https://agriculture.trimble.com> (дата звернення: 06.08.2025).

2. Курсов С. В. Імплементация CAD/CAM-систем у професійну підготовку інженерів аграрного профілю. *Інженерія природокористування*. 2023. № 1(25). С. 52–58.

3. Гаврилюк М. М. Сучасні підходи до організації мобільного технічного сервісу аграрної техніки. *Агроінженерія*. 2024. № 3. С. 52–60.

4. Сидоренко В. М. Інноваційні технології в технічному сервісі сільськогосподарської техніки. *Техніка і технології АПК*. 2023. № 4. С. 35–41.

5. *CLAAS TELEMATICS: Digital Solutions for Farm Machinery Management*. CLAAS Group. 2024. URL: <https://www.claas.com> (дата звернення: 06.08.2025).

Ovsiienko Y.,

PhD in Pedagogy, Associate Professor,
Department of Construction and Professional Education,
e-mail: uliia.ovsienko@pdau.edu.ua

Ryzhkova T.,

Senior Lecturer,
Department of Construction and Professional Education,
e-mail: tetiana.ryzhkova@pdau.edu.ua
*Poltava State Agrarian University,
Poltava, Ukraine,*

INTERDISCIPLINARY INTEGRATION OF FUNDAMENTAL DISCIPLINES IN TRAINING ENGINEERS OF TECHNICAL PROFILE

The current development stage of agro-industrial complex, mechanical engineering, and automotive transport requires engineers to adapt quickly to technological changes. They must design reliable systems and make informed decisions under uncertainty. A strong foundation in higher mathematics and physics is essential for this professional readiness. Students of engineering specialties struggle to apply abstract mathematical concepts and physical laws to real production tasks. This slows down the formation of professional competencies. In the context of competence-based approach and National Qualification Framework requirements, there is a need to rethink the structure of fundamental training [1]. Bridging the gap between disciplines through logical cross-subject links, coordinating thematic blocks, and demonstrating their applied engineering content becomes a key factor in improving educational effectiveness. This ensures maximum alignment of graduates with modern production requirements.

The proposed approach is based on synchronizing curricula of higher mathematics and physics in the first year of study. This is when future specialists develop engineering thinking. Instead of isolated topic study, teachers coordinate the sequence of topics. This forms a unified conceptual framework for solving complex tasks. This thematic coherence enables students to see a unified set of tools, rather than a collection of separate formulas. The proposed system of interrelationships is presented in Table 1.

Table 1. Synchronization of fundamental disciplines curricula

Mathematical module	Physics module	Engineering applications by specialty
Differential calculus	Kinematics, Dynamics	Agricultural Engineering: optimization of harvesting equipment parameters Automotive Transport: braking distance analysis with variable friction coefficient Mechanical Engineering: optimization of technological processes
Integral calculus	Work of variable forces, Energy balances	Agricultural Engineering: modeling load distribution in elevator structures Automotive Transport: energy efficiency calculation of hybrid power units Mechanical Engineering: vibration diagnostics of units
Differential equations	Heat transfer, Mechanical system oscillations	Agricultural Engineering: temperature regimes for product storage Automotive Transport: vehicle motion dynamics Mechanical Engineering: design of automated production lines
Linear algebra	Analysis of electric circuits, Computer modeling	Agricultural Engineering: automation systems for technological processes Automotive Transport: electronic control systems Mechanical Engineering: CAD/CAE modeling

An important element of the methodology is introductory problem-oriented modeling. Before studying a new theoretical block, students receive short engineering problem statements adapted to their specialty profile. Each case is first formulated in production language. Then it transforms into a mathematical or physical model. It is solved using appropriate tools and interpreted in terms of reliability, safety, or economic feasibility.

The teacher's role in this system transforms from knowledge transmitter to research activity facilitator. The teacher does not provide ready-made algorithms. Instead, they guide students through open-ended questions. This helps students independently identify connections between heat conduction equations, momentum conservation laws, and parameters of real engines or transmissions. Assessment of learning outcomes also changes. The focus shifts from checking arithmetic accuracy to evaluating model construction logic, correct application of theoretical tools, depth of engineering interpretation, and quality of argumentation during defense of solutions.

Approbation of coordinated cross-disciplinary modules in the educational process of Poltava State Agrarian University showed positive dynamics. Student motivation to study fundamental disciplines increased. The quality of calculation and project work improved. Students demonstrate deeper understanding of the connection between theoretical laws and practical engineering solutions. They learn to work with manufacturers' technical documentation and navigate professional uncertainty more effectively. The key advantage of the approach is its universality and flexibility. Thematic blocks can be adapted to specific selective components of educational programs in agricultural engineering, automotive transport, or mechanical engineering. This is possible without changing the mathematical or physical core. This ensures a stable link between academic training and challenges of modern industrial production.

The results confirm the feasibility of implementing cross-subject links between higher mathematics and physics. They become practical tools for engineering thinking rather than abstract disciplines. The proposed methodology ensures direct reflection of educational program requirements and Higher Education Standard in the educational process. It reduces cognitive load for first-year students and accelerates adaptation of theoretical knowledge to real production situations. Further development involves expanding the base of adapted cases for precision farming specifics. It also includes integrating digital simulators into the educational process and implementing interuniversity exchange of methodological developments. The practical value lies in a ready framework of cross-disciplinary modules. It can be directly integrated into working programs of fundamental natural science cycle disciplines. This ensures maximum effectiveness in training engineering personnel for sustainable development of industrial sectors.

References

1. National Qualification Framework of Ukraine: Law of Ukraine dated 01.07.2021 No. 1556-IX. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1556-20>.



Електронне наукове видання

**Збірник тез доповідей
I Міжнародної науково-практичної конференції
«Машинобудування, агроінженерія та автомобільний транспорт:
інновації і перспективи розвитку»**

Матеріали подаються в авторській редакції

Підписано до видання 22.05.2026 р.
Гарнітури: Times New Roman, Century Gothic.

Видавець та виготовлювач –
Полтавський державний аграрний університет,
редакційно-видавничий відділ.
ПДАУ, навчальний корпус 4, 1-й поверх,
вул. Сковороди, 1/3, м. Полтава, 36003.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 2174 від 26.04.2005 р.

