

Міністерство освіти і науки України

Полтавський державний аграрний університет

Вінницький національний аграрний університет

Уманський національний університет

**Центральноукраїнський національний
технічний університет**

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

**Матеріали
VIII Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції**

04 грудня 2025 року

Полтава 2025

Міністерство освіти і науки України

Полтавський державний аграрний університет

Вінницький національний аграрний університет

Уманський національний університет

**Центральноукраїнський національний
технічний університет**

**ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ
РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО
МАШИНОБУДУВАННЯ**

**Матеріали
VIII Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції**

04 грудня 2025 року

Полтава 2025

Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали VIII Всеукр. наук.-практ. інтернет-конференції (Полтава, 04 грудня 2025 р.). ПДАУ: ред. кол., О. І. Біловод, С. В. Попов, Ю. В. Левченко, О. В. Цуркан [та ін.]. Полтава: ПДАУ, 2025. 144 с.

Конференція проведена за підтримки Міністерства освіти і науки України та зареєстрована в ДУ «Український інститут науково-технічної експертизи та інформації» (УкрІНТЕІ) за №242 від 24.02.2025 р.

Рекомендовано до друку Вченою радою інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету, протокол № 5 від 18.12.2025 р.

У збірці представлено матеріали VIII Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції за результатами досліджень щодо проблем сільськогосподарського машинобудування, а також перспектив його розвитку.

Матеріали призначені для наукових співробітників, викладачів, студентів, а також аспірантів закладів вищої освіти, керівників і фахівців сільськогосподарських, машинобудівних та переробних підприємств агропромислового комплексу різної організаційно-правової форми, працівників державного управління, освіти та місцевого самоврядування, всіх, кого цікавить проблематика та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування.

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

Редакційна колегія: Біловод О. І., кандидат технічних наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет; Попов С. В., кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент, Полтавський державний аграрний університет; Левченко Ю. В., кандидат технічних наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет; Цуркан О. В., доктор технічних наук, професор, Вінницький національний аграрний університет; Дідур В. В., доктор технічних наук, професор, Уманський національний університет; Васильковський О. М., кандидат технічних наук, професор, Центрально-український національний технічний університет.

ЗМІСТ

Попов С. В., Стребко В. А. АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ У ГВИНТОВІЙ ПЕРЕДАЧІ	9
Басова Ю. О., Левченко Ю. В., Проценко О.С., Качур С. В. АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА СТРУКТУРНУ ЦІЛІСНІСТЬ ЗЕРНА	11
Боровик О. Ю., Левченко Ю. В., Боровик В. Ю. МЕХАНІЗМИ ЗНОШУВАННЯ ЧАВУННИХ ВАЛКІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ	14
Басова Ю. О. Бичков Я. М., Покладенко К. В. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ	17
Біленький А. Ю., Падалка В. В., ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ МАШИНИ ПОДРІБНЕННЯ СОЛОМИ ДЛЯ ПТАХОФАБРИК	21
Герасименко Р. П., Падалка В. В. УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИДІННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ НА ВОДІЯ	24
Дрожчана О. У. ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗІ СПЕЦТЕХНІКОЮ	27
Дудник Д. В., Зінченко С. П., Дудник В. В. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ТА ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ	29
Лихошерст І. С., Дудник В. В. ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТЕПЛОВІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ РАДІАТОРІВ	32
Матвієнко Р. О., Чумак М. В., Падалка В. В. ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СОШНИКА ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ З ОДНОЧАСНИМ ВНЕСЕННЯМ ДОБРІВ	35

Міров Д. В., Падалка В. В., ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СЕПАРАТОРА ЗЕРНА З АКТИВНИМИ ПЛОСКИМИ РЕШЕТАМИ	39
Опара Н.М. СЕРТИФІКАЦІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННІ	42
Боровик О. Ю., Левченко Ю. В., Боровик В. Ю. ПРИЧИНИ ТА ХАРАКТЕР ПОШКОДЖЕНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН У АБРАЗИВНОМУ ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ	46
Харченко С. О., Біловод О. І., Литвиненко В. В., Ромашко Р. Л., Вовк В. О. ПОБУДОВА ТА ВАЛІДАЦІЯ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ У ПНЕВМОСЕПАРАТОРАХ ІЗ КЕРОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ	48
Скоряк Ю. Б., Гак В. М., Скоряк С. А. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АКТИВНОГО ШАРУ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ВИВАНТАЖЕННЯ	50
Войновський В. В. АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЗНОСУ РІЗУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ	53
Грабовець О. М. ШЛЯХИ РОЗРОБКИ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ СПІРАЛЬНИХ СВЕРДЕЛ	55
Біловод В. В., Гузь В. Ю., Ковбаса В. П., ДО ПИТАННЯ ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ КУЛЬТИВАТОРНОЇ ҐРУНТООБРОБНОЇ ЛАПИ	58
Куча М. М. МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ ФРИКЦІЙНИХ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ	61

Тарасенко Д. С., Біловод О. І. ДО ПИТАННЯ ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ ПІДВІСКИ КУЛЬТИВАТОРНОЇ ГРУНТООБРОБНОЇ ЛАПИ	63
Ветохін В. І., Рижкова Т. Ю., Ребенок О. А., Заславець В. О., Коренівський А. О., Сидорчук Ю. В., Амосов В. В. РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРИНЦИПИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ	66
Рижкова Т. Ю., Ветохін В. І., Негребецький І. С., Заславець В.О. ДЕЯКІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТАЦІЙНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗНАРЯДЬ	69
Скрипник В. О., Семенов А. О., Бобошко О. О., Мусіяка Н. А. РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ ПОСІЧЕНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	74
Халін С. В. АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ ВТОМНОГО КОНТАКТНОГО РУЙНУВАННЯ	77
Шкляр Ю. В., Канівець О.В. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ВАЛАХ	80
Скоряк Ю. Б., Лебідь С. О., Василевич В.О. СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИН ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У АГРОВИРОБНИЦТВІ	82
Прілепо Н. В., Упоров А. Є. «NO BOOTS IN THE BIN» – ПРОГЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЯТУЮТЬ ЖИТТЯ	86
Прілепо Н. В., Дорошенко К. С. ІНЖЕНЕРНІ ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ОБ'ЄМНОГО АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА У РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ	89

Скрипник В. О., Семенов А. О., Передерій Р. М., Крайній К. О. РОЗРОБЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ НАТУРАЛЬНИХ ВИРОБІВ ІЗ ЯЛОВИЧИНИ	92
Басова Ю. О., Левченко Ю. В., Крюков М. С. ПАТЕНТНІ РІШЕННЯ У СФЕРІ ІoT-МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	94
Попович Н. М. ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАЛОГАБАРИТНИХ МЕХАНІЗМІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ: ДОСВІД СТВОРЕННЯ РУЧНОЇ САДЖАЛКИ ДЛЯ ЧАСНИКУ	98
Семенов А. О., Горбань О. С. ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ЗА РАХУНОК РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ	100
Семенов А. О., Скрипник В. О., Семенова Н. В., Бибик С. А. ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ЦЕХУ	102
Сердюк В. О., Семенов А. О. ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ ВІД УРАЖЕННЯ БЛИСКАВКОЮ	104
Хмеленко А. М. РЕГЕНЕРАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ	107
Тесля А. А., Падалка В. В. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВИХ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН	111
Шевченко І. О., Гончаренко О. О. РОЗГЛЯД ПИТАННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛЬНО- ТЕХНІЧНИХ РЕСУРСІВ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ	115
Калініченко В. Є., Дудник В. В. АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ПРИДАТНІСТЬ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРОМАШИН	118



Негребецький І. С. ОСОБЛИВОСТІ МОНТАЖУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ	121
Устименко О. А. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ	124
Стеценко М. О. ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ, ДЕРЕВИНИ, РОСЛИННИХ РЕШТКІВ, ГАЗУ І БІОГАЗУ, БІОПАЛИВА У ЯКОСТІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	126
Сімонов М. В. ПРОЦЕС ЗГИНАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТІВОК	131
Скрипник В. О., Семенов А. О., Бут А. Г., Шалдуга І. А. РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ ПОСІЧЕНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	134
Стогній А. О. СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ ПІСЛЯ 2020 РОКУ	136
Антонець А. В. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА КОНТРОЛЬОВАНОГО РУХУ ЗЕРНА НА РОЗГІННІЙ І ДВОХ ГАЛЬМІВНИХ ДІЛЯНКАХ ПРЯМОГО КАНАЛУ	139
Гордієнко О. О., Муравльов В. В. СТІЙКІСТЬ ТА ВТОМНА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ЗМІННИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ	142

УДК 621.8

АНАЛІЗ НАВАНТАЖЕНЬ У ГВИНТОВІЙ ПЕРЕДАЧІ

*Попов С. В., кандидат технічних наук, доцент,
Стребко В. А., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Полтавський державний аграрний університет*

Гвинтові передачі належать до числа найважливіших механічних елементів машин та приладів, що призначені для перетворення обертального руху у поступальний або навпаки. Вони гарантують значне передавальне відношення, можуть створювати значні осьові зусилля при незначних обертових моментах. Відзначаються високою точністю позиціонування. Завдяки цим властивостям гвинтові пари широко застосовуються у верстатобудуванні, приладобудуванні, транспортних засобах, підйомно-транспортних механізмах і приводах, де необхідна плавність руху та можливість самогальмування [1-3].

Одним із найпоширеніших прикладів практичного використання гвинтової передачі є ромбічний механічний домкрат. У його конструкції гвинтова пара виконує роль основного силового елемента, що перетворює обертання ручки у поступальний рух вантажної платформи. Цим забезпечується підйом автомобіля. Від параметрів гвинта, типу різьби, коефіцієнта тертя, точності виготовлення залежить ефективність та безпечність роботи домкрата. Саме тому аналіз навантажень у передачі «гвинт-гайка» ромбічного домкрата є важливим завданням для оцінки його роботоздатності, визначення механічних втрат, вдосконалення конструкції.

Для дослідження обрано ромбічний механічний домкрат Штурмовик ВВС-1500Т. Його вантажність становить 1,5 т, висота підйому 390 мм, а маса – 2,7 кг. Визначали обертовий момент на ручці, що прикладається при підйомі передньої частини автомобіля. Вимірювання проводили за допомогою динамометричного адаптера Shahe ANC-340, встановленого між ручкою та гвинтом домкрата. Отримані дані дозволили визначити зусилля на домкрат, навантаження у гвинтовій парі, тиск у витках різьби, що є показниками роботоздатності передачі та механізму в цілому. За результатами вимірювань встановлено, що обертовий момент змінюється від 6,9 до 4,9 Н·м під час підйому колеса. Відповідно до аналітичних залежностей було отримано зусилля на домкрат 3697,7 Н, сила у гвинті

6404,6 Н, тиск, що діє, 16 МПа. Усі значення не перевищують допустимі межі для трапецієподібної різьби Tr14×2, що підтверджує правильність вибору конструктивних параметрів. Максимальне навантаження спостерігалось у момент відривання колеса від опорної поверхні, коли частина маси автомобіля переноситься безпосередньо на домкрат. Подальше збільшення висоти підйому супроводжується поступовим зменшенням зусиль внаслідок зміни положення центра мас та перерозподілу ваги між колесами. Для оцінки впливу геометричних параметрів розглянуто зміну кута між ланками ромбічного гвинтового механізму. Зі збільшенням цього кута навантаження у гвинтовій парі зменшується. Це пояснюється тим, що при розкритті ромба система стає геометрично більш стійкою, а частка навантаження на гвинт зменшується. Було встановлено лінійний характер залежності між моментом на ручці та тиском у гвинті. Це свідчить про ефективну передачу енергії без істотних втрат на тертя чи деформації. За реальних умов це забезпечує плавність підйому, стабільність роботи механізму без ривків, заїдань.

Проведене дослідження показує, що навіть без застосування складного тензометричного обладнання можливо отримати певні результати про силові характеристики. Використання динамометричного адаптера є простим і доступним способом контролю за технічним станом механізмів. Дана методика може бути застосована в освітньому процесі під час опанування дисципліни «Деталі машин». Вона сприятиме розвитку практичних навичок вимірювань, аналізу результатів та розуміння принципів роботи гвинтових передач. Отримані розрахункові співвідношення дозволяють швидко визначати навантаження в елементах без необхідності застосування складних методів скінчено-елементного аналізу.

Список джерел посилання

1. Фролов Є.А., Кравченко С.І., Попов С.В., Гнітько С.М. Технологічне забезпечення якості продукції машинобудування: монографія. Полтава, 2019. 204 с.
2. Попов С.В., Бучинський М.Я., Гнітько С.М., Чернявський А.М. Теорія механізмів технологічних машин: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 268 с.
3. Гнітько С.М., Бучинський М.Я., Попов С.В., Чернявський Ю.А. Технологічні машини: підручник. Київ: Видавництво Ліра-К, 2020. 258 с.

УДК 631.363.2:633.1

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОПЕРАЦІЙ НА СТРУКТУРНУ ЦІЛІСНІСТЬ ЗЕРНА

*Басова Ю. О., кандидат технічних наук, доцент,
Левченко Ю. В. кандидат технічних наук, доцент,
Проценко О. С., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Качур С. В., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Зростання обсягів виробництва зерна зумовлює інтенсифікацію операцій транспортування, перевантаження та очищення, тому удосконалення технологічного процесу експлуатації є актуальним завданням для зернопереробної галузі. Однією з основних причин втрат посівних, харчових та товарних якостей зерна є його механічне травмування під час транспортування [1].

Дослідження [2] встановлюють виражений зв'язок між інтенсивністю механічних впливів і зниженням міцності зернівки. Зернова маса, проходячи через серії операцій (падіння, метання, взаємодія з робочими органами машин), набуває сукупності мікро- та макропошкоджень, що зумовлює поступову деградацію механічної міцності. Вимірювання руйнівного навантаження зерна пшениці після типових етапів обробки (зняття з колосу, вивантаження, очищення) засвідчили зменшення його значення приблизно на 40 % у найбільш вразливому положенні. Це свідчить про суттєве ослаблення структури зернівки та підвищену ймовірність руйнування на подальших технологічних стадіях [2].

Вагому частку механічних пошкоджень зерна формують традиційні транспортні засоби, насамперед стрічкові зернокидачі [3]. Їх експлуатація супроводжується ударними взаємодіями із конструктивними елементами, вібраційними навантаженнями та нерівномірністю швидкостей руху зерна, що призводить до стирання оболонки, утворення мікротріщин і зниження схожості насінневого матеріалу (рисунок 1).

Порівняння механічного та пневматичного транспортування підтверджує суттєву різницю в інтенсивності дії на зерно (рисунок 2). Пневмотранспорт забезпечує переміщення у режимі квазізрідження, коли зернівка мінімізує контакт зі стінками трубопроводів і практично

не зазнає ударних навантажень. Такий характер руху знижує імовірність руйнування, забезпечує збереження посівних якостей та дозволяє транспортувати зерно на значні відстані без істотних втрат (рисунок 2).

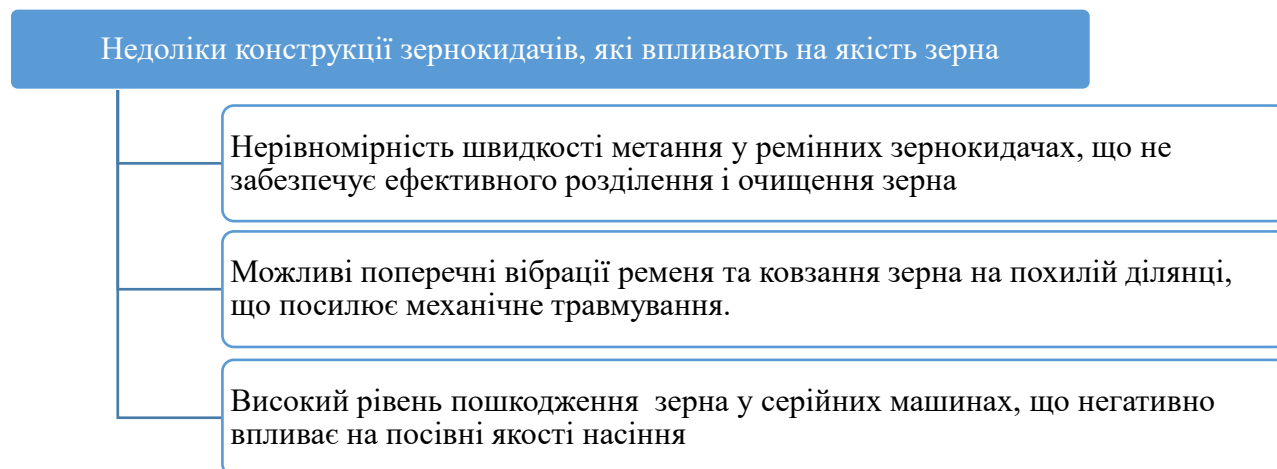


Рисунок 1 – Недоліки конструкції зернокидачів, які впливають на якість зерна

ТРАВМАТИЧНІСТЬ ЗЕРНА ПРИ РІЗНИХ СПОСОБАХ ТРАНСПОРТУВАННЯ	
МЕХАНІЧНИЙ ТРАНСПОРТ	ПНЕВМАТИЧНИЙ ТРАНСПОРТ
- Висока ймовірність: - ударів об елементи конструкції, - стирання оболонки, - мікро- і макротріщин. - Підвищене травмування при збільшенні продуктивності та кута нахилу.	- Набагато нижча травматичність: взаємодія зерна зі стінками мінімальна. - Ударні навантаження відсутні або знижені до безпечних рівнів. - Оптимальні швидкості повітряного потоку забезпечують збереження посівних якостей.

Рисунок 2 – Порівняння травматичності зерна механічного і пневматичного транспорту

Теоретичні дослідження процесу переміщення частинок у повітряному потоці вказують на можливість створення контрольованих умов руху, де ключовими параметрами є швидкість, концентрація суміші, рівень тиску та радіуси поворотів трубопроводів. Оптимізація цих параметрів дозволяє сформувати щадний режим транспортування, що мінімізує механічну дію на зернівку.

Удосконалення експлуатації пневмотранспортних систем передбачає:

- визначення максимально допустимих швидкостей повітряного потоку, за яких не виникають мікропошкодження;
- встановлення оптимальної концентрації зерново-повітряної суміші;
- раціональне проектування траси пневмотранспорту із плавними вигинами;
- вибір матеріалів трубопроводів зі зниженим коефіцієнтом тертя; застосування елементів стабілізації потоку [5].

Експериментальні дані щодо меж допустимих напруг ($7,9\text{--}10,5\text{ Н/мм}^2$) дозволяють обґрунтовано визначати безпечні режими роботи пневмосистем і формувати технічні рекомендації для їх модернізації [2].

Пневматичні транспортні системи мають значний потенціал для зниження травмування зерна в технологічних процесах післязбиральної обробки. Оптимізація аеродинамічних та конструктивних параметрів системи забезпечує підвищення якості насінневого та товарного матеріалу, скорочення енерговитрат і зменшення втрат продукції. Використання удосконалених пневмотранспортних рішень є перспективним напрямом підвищення ефективності сучасних зернопереробних підприємств.

Список джерел посилання

1. Іванов О. М., Сімонов К. В. Теоретично-імовірнісний підхід до оцінки рівня травмування зерна при транспортуванні. Вісник Полтавської державної аграрної академії. 2021. № 2. С. 266-272. DOI: 10.31210/visnyk2021.02.35.
2. Mahmud, F., Al-Hassani, M. M., & Athanasiadis, I. E. A Review of Grain Kernel Damage: Mechanisms, Modeling, and Testing Procedures. Transactions of the ASABE. 2020. Vol. 63, no. 2. P. 445–461. DOI: 10.1007/s11783-020-12009-1.
3. Левченко Ю.В., Басова Ю.О., Закревський А. О. Удосконалення конструктивних параметрів обладнання для транспортування зерна. *Нові технології і обладнання харчових та переробних виробництв*: матеріали I Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., м. Полтава, 19-20 квіт. 2023 р. Полтава, 2023. С. 86-89. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/items/9e602343-7b6d-4e95-a81f-f938b2d3264e>
4. Monin, A. S., & Yaglom, A. M. *Statistical Fluid Mechanics, Volume I: Mechanics of Turbulence*. Dover Publications, 2007. 769 с.

5. Качур С., Проценко О., Басова Ю. Аналіз досліджень по удосконаленню транспортних систем для післязбиральної обробки зерна. *Researching Advanced Horizons of Global Progress: Challenges and Innovative Concepts* : IV International scientific and practical conference, december 13-15, 2023. Seville, Spain, International Scientific Unity. 2023. P. 307-310. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15712>

УДК: 621.778.084: 621.791

МЕХАНІЗМИ ЗНОШУВАННЯ ЧАВУННИХ ВАЛКІВ ТА МЕТОДИ ЇХ ВІДНОВЛЕННЯ

*Боровик О. Ю., асистент,
Левченко Ю. В., кандидат технічних наук, доцент,
Боровик В. Ю., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Розвиток сільськогосподарського машинобудування в Україні супроводжується зростанням вимог до надійності та довговічності деталей, що працюють у важких умовах навантаження. До таких елементів належать чавунні валки, які широко застосовуються в прокатному обладнанні, транспортних системах та допоміжних механізмах аграрного виробництва. Стабільність їх роботи визначає не лише технічні показники машин, але й економічну ефективність підприємств [1, 2].

У вітчизняних умовах спостерігається обмеженість обладнання для виготовлення великих відцентрових виливків, що зумовлює залежність від імпортних сталевих або композитних валків. Водночас чавунні валки залишаються технологічно доступними та економічно доцільними, однак характеризуються підвищеною чутливістю до дефектів, які формуються як на етапі виробництва, так і під час експлуатації.

Найпоширенішими проблемами, що обмежують довговічність валків, є абразивне зношування, вплив температури, утворення поверхневих і глибинних тріщин, сколи робочого шару та відшарування бандажу. Виявлення причин виникнення цих дефектів та їх класифікація дає змогу підвищити якість виготовлення та надійність роботи валків у виробничих умовах [3].

Тому метою дослідження є проведення аналізу основних дефектів чавунних валків та встановлення їхніх причин з урахуванням експлуатаційних навантажень і технологічних особливостей виготовлення.

Встановлено, що у процесі експлуатації чавунні валки піддаються різним видам навантаження, які обмежують їхній ресурс та працездатність. Відомо, що найпоширенішим є абразивне зношування, яке виникає при роботі зернообробного та прокатного обладнання, а його інтенсивність зростає при нагріванні під час тертя та недостатньо обробленій шорсткості поверхні валка. Проаналізовано, що значну роль у зменшенні ресурсу валків відіграє вплив температури, що формується через циклічні перепади температур і викликає появу мікротріщин у поверхневому шарі. Накопичення таких мікротріщин призводить до утворення сітки тріщин та відшарування фрагментів робочої поверхні. Основними факторами, що підвищують ризик такого дефекту, є нерівномірне охолодження валка, перегрів під час роботи та неоднорідна структура чавуну [3, 4].

Дослідження показали, що поверхневі та глибинні тріщини з'являються внаслідок порушення процесу виготовлення, локальних перенавантажень та наявності литих дефектів, таких як газові раковини, шлакові включення або скупчення карбідів. Глибинні тріщини переважно пов'язані з внутрішніми напруженнями, що виникають при охолодженні масивних відливок. Експлуатація таких валків показує, що скол робочого шару формується в результаті поєднання ударних навантажень і дефектів структури матеріалу. Встановлено, що для бандажованих валків характерним дефектом є відшарування зовнішнього шару, яке виникає через порушення процедури гарячої посадки, надмірні допуски по діаметру, нерівномірний нагрів бандажа та наявність литих дефектів на внутрішній поверхні [5, 6].

Отже, проведений аналіз літературних даних щодо дефектів чавунних валків показав, що основними причинами обмеження їхнього ресурсу є абразивне зношування, термічна втома, тріщини, сколи та відшарування зовнішнього шару бандажованих валків.

Виявлення і систематизація цих дефектів дозволяє оцінити критичні точки конструкції та технології виготовлення, а також окреслити напрями для підвищення стійкості і довговічності валків.

Проаналізувавши матеріали, запропоновано методи підвищення працездатності чавунних валків. Одним з методів є оптимізація

матеріалу робочого шару. Встановлено, що використання бейнітної структури з кулястим графітом забезпечує високу ударну в'язкість, підвищену твердість, стабільність властивостей по глибині, стійкість до термічної втоми.

Ефективним методом зменшення зношування валків є використання композиційних та металокерамічних покриттів. Досліджено, що нанесення карбідних покриттів ($WC-Co$, Cr_3C_2-NiCr) методом газотермічного напилення дає можливість продовжити термін їх експлуатації.

До передових технологій відновлення поверхні зношування можна віднести застосування технологій вискошвидкісного газополуменевого напилення, плазмове напилення, електродугове напилення. Покриття дозволяють утворити захисний шар з твердістю 800–1200 HV при збереженні міцної чавунної основи. Перераховані методи є ефективними, але досить вартісними, що впливатиме на кінцеву ціну готової продукції.

Отже, у роботі проаналізовано основні дефекти чавунних валків, що застосовуються у сільськогосподарському машинобудуванні, та визначено їхні причини з урахуванням технології виготовлення та умов експлуатації. Встановлено, що довговічність валків обмежується абразивним зношуванням, термічною втомою, утворенням поверхневих і глибинних тріщин, сколами та відшаруванням бандажа. Систематизація дефектів дала змогу визначити ключові напрями підвищення працездатності валків, серед яких: оптимізація структури чавуну (формування бейніту з кулястим графітом), застосування карбідних та металокерамічних покриттів, використання сучасних методів газотермічного напилення (HVOF, плазмове, електродугове).

Список джерел посилання

1. Сайчук О. В., Петренко І. М. Оптимізація структури чавунних валків у умовах абразивного зношування. *Техніка і технології АПК*. 2020. № 7. С. 31–38.

2. Сайчук О. В. Газотермічне відновлення робочих поверхонь валків: технологічні параметри та якість покриттів. *Вісник ЖНАЕУ*. 2019. Т. 1. С. 112–120.

3. Аветісян В. К., Колпаченко Н. М., Маніло В. Л., Ащанулов Д. П., Сайчук О. В., Біловод О. І., Скоряк Ю. Б. Аналіз якості структуроутворення виливків корпусних деталей з сірого чавуну.

Металознавство та термічна обробка металів. 2023. № 51. С. 174–181.

4. Нестеренко О. М., Олійник С. І. Аналіз термічних напружень у валках для агропромислового комплексу. *Вісник ХНТУСГ.* 2020. № 213. С. 78–85.

5. Кравченко В. В., Шевченко К. Л. Відновлення валків методом плазмового напилення: аналіз ефективності. *Машинобудування.* 2021. № 2. С. 59–66.

6. Гринь С. Л., Баранник В. В. Композиційні покриття на основі карбідів для валків транспортних систем. *Технологічні системи.* 2022. № 1. С. 104–111.

УДК 620.9:631.11

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ СТРАТЕГІЇ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АГРОПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Басова Ю. О., кандидат технічних наук, доцент,
Бичков Я. М., кандидат технічних наук, доцент,
Покладенко К. В., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Полтавський державний аграрний університет*

Сучасний етап розвитку агропромислового комплексу України характеризується необхідністю пошуку інноваційних шляхів підвищення енергоефективності та зниження екологічного навантаження. Особливої актуальності набуває проблема раціонального використання біоенергетичного потенціалу сільськогосподарських підприємств, зокрема шляхом утилізації органічних відходів. Ефективне вирішення цієї задачі вимагає комплексного підходу, що поєднує техніко-економічне обґрунтування з екологічними та соціальними аспектами.

Існуюча практика прийняття управлінських рішень щодо енергозабезпечення агропромислових підприємств (АПП) часто ґрунтується на суб'єктивних оцінках та фрагментарному аналізі окремих показників [1]. Це призводить до неефективного використання ресурсів, високих експлуатаційних витрат і недооцінки екологічних наслідків. У цьому контексті постає необхідність у

застосуванні сучасних інструментів багатокритеріального аналізу, які дозволяють формалізувати процес прийняття рішень та врахувати всі ключові фактори в їхній взаємозв'язку.

В якості такого інструменту виступає метод аналізу ієрархій (MAI), який довів свою ефективність для вирішення складних багатокритеріальних задач у різних галузях економіки. Однак його застосування для обґрунтування стратегій енергозабезпечення агропромислових підприємств з урахуванням специфіки їх діяльності потребує подальшого дослідження.

Мета роботи полягала у розробці та апробації методики вибору оптимальної стратегії енергозабезпечення АПК на основі методу аналізу ієрархій, який враховує техніко-економічні, екологічні та соціальні критерії оцінки альтернативних проектів.

Дослідження базувалося на методі аналізу ієрархій [2]. Була побудована трирівнева ієрархічна модель (рисунок 1).

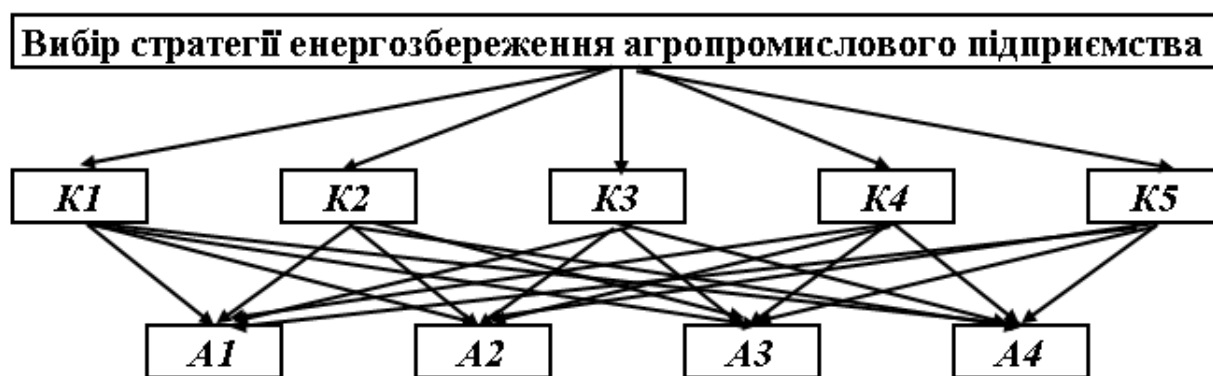


Рисунок 1 – Трирівнева ієрархічна модель

Модель включає:

- Верхній рівень – головну мету – вибір стратегії енергозабезпечення.
- Середній рівень – критерії оцінки: K1 - вартість впровадження, K2 - експлуатаційні витрати, K3 - трудомісткість, K4 - екологічність, K5 - надійність.
- Нижній рівень – альтернативні проекти: A1 - традиційна схема, A2 - виробництво теплоти з утилізацією відходів, A3 - комбінована схема, A4 - повна автономія на базі когенерації.

Пріоритети критеріїв визначались шляхом парних порівнянь за 9-бальною шкалою. Для парних порівнянь використовувалась 9-бальна шкала Сааті, де 1 – рівна важливість, 9 – абсолютна перевага одного

елемента над іншим. Експертні оцінки отримано від групи з 5 фахівців у галузі енергетики та агровиробництва. Для оцінки альтернатив за кожним критерієм також використовувались матриці парних порівнянь. Узгодженість оцінок перевірялась через розрахунок індексу узгодженості (ІУ) та відношення узгодженості (ВУ).

Застосування методу аналізу ієрархій для вибору оптимальної стратегії енергозабезпечення АПК дозволило отримати кількісні оцінки пріоритетності чотирьох альтернативних проектів за п'ятьма ключовими критеріями (K1, K2, K3, K4, K5). Було проаналізовано чотири сценарії (C1, C2, C3, C4), що моделюють різні підходи до прийняття рішень.

Таблиця 1 – Оцінка пріоритетності альтернативних проектів

		Пріоритети критеріїв					Глобальні пріоритети альтернативних проектів			
		K1	K2	K3	K4	K5				
Сценарій	C1	0.28	0.38	0.21	0.10	0.04				
	C2	0.27	0.39	0.06	0.18	0.11				
	C3	0.27	0.18	0.11	0.39	0.06				
	C4	0.06	0.11	0.27	0.39	0.18				
Пріоритетність проектів за критеріями							C1	C2	C3	C4
Альтернативні	A1	0.49	0.45	0.07	0.07	0.17	0.29	0.34	0.21	0.17
	A2	0.30	0.31	0.30	0.19	0.24	0.27	0.24	0.25	0.24
	A3	0.16	0.08	0.19	0.30	0.20	0.21	0.15	0.28	0.20
	A4	0.04	0.16	0.44	0.44	0.39	0.23	0.26	0.26	0.39

У межах економіко-орієнтованого сценарію (C1) з високими пріоритетами вартості впровадження (K1=0.28) та експлуатаційних витрат (K2=0.38) традиційний проект A1 отримав найвищий глобальний пріоритет (0.49). Це обґрунтовано тим, що такий варіант не вимагає капітальних інвестицій у нове обладнання.

У збалансованому сценарії (C2) із помірним підвищенням ваги екологічного критерію (K4=0.18) спостерігається зростання пріоритетності проекту A2 до 0.31. Проект A1 зберігає лідерство, однак його перевага значно скорочується, що відображає вплив екологічного фактору на вибір.

За умов екологічно-орієнтованого сценарію (C3), в якому критерій екологічності (K4=0.39) мав найвищий пріоритет, проект A4 із застосуванням когенераційної установки вийшов на перше місце з показником 0.44. Проект A1 посів другу позицію (0.30), що свідчить

про його конкурентоспроможність навіть за високих екологічних вимог, проте вже не є оптимальним.

В умовах радикально-екологічного сценарію (С4), де економічним критеріям надана мінімальна вага, проект А4 продемонстрував абсолютну перевагу (0.45). Те, що проект А2 посів друге місце (0.19), засвідчує його високу ефективність з точки зору екології, однак істотно поступається технологічно розвиненому рішенню А4.

Проект А2 посідав друге місце у трьох з чотирьох сценаріїв, що свідчить про його стабільну конкурентоздатність. Це пояснюється збалансованістю його характеристик – можливістю утилізації відходів при помірних капітальних витратах. Розрахунок відношення узгодженості (ВУ) для всіх матриць парних порівнянь не перевищував 0.1, що підтверджує об'єктивність та неупередженість експертних оцінок. Найвищий показник $VU=0.08$ зафіксовано для матриці порівнянь альтернатив за критерієм надійності (К5).

Отримані результати демонструють, що оптимальний вибір стратегії енергозабезпечення суттєво залежить від ціннісних орієнтацій та пріоритетів управлінських рішень. Для підприємств з обмеженим бюджетом оптимальним є проект А1, тоді як для підприємств, що орієнтовані на сталий розвиток та екологічну відповідальність, рекомендовано проекти А2 або А4.

Запропонована методика дозволила систематизувати процес прийняття рішення, перевести суб'єктивні переваги в кількісні оцінки та мінімізувати ризик прийняття необґрунтованих рішень. Висока узгодженість експертних оцінок ($VU < 0.1$) підтверджує достовірність отриманих результатів та можливість їх практичного застосування.

Отже, метод аналізу ієрархій довів свою ефективність для багатокритеріального вибору стратегії енергозабезпечення АПП. Він не лише надав кількісне обґрунтування для прийняття рішення, але й наочно продемонстрував залежність оптимального вибору від ціннісних орієнтацій та пріоритетів особи, що приймає рішення. МАІ перетворює суб'єктивні експертні оцінки на об'єктивні числові показники, підвищуючи якість управлінських рішень в АПК.

Список джерел посилання

1. Ткаченко В., Носач Н., Єгіозар'ян А. Впровадження збалансованої системи показників у менеджменті аграрних

підприємств. Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит, № 7(197). 2024. С. 127-138 DOI: 10.20998/2313-8890.2024.07.10

2. Усикова О. М. Метод аналізу ієрархій у системі прийняття рішень на підприємстві. Економічний вісник Дніпровського державного технічного університету, № 1(6). 2023. С. 86-91. DOI: 10.31319/2709-2879.2023iss1(6).283000

УДК 631.2

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ МАШИНИ ПОДРІБНЕННЯ СОЛОМИ ДЛЯ ПТАХОФАБРИК

*Біленький А. Ю., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Падалка В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

У птахівництві за останні 20 років найбільшого поширення набула технологія підлогового вирощування бройлерів з використанням різного підстилкового матеріалу. Відповідно до технологічних норм вирощування птиці потреба у підстилці для птахофабрик становить 1,1-1,3 млн. тон на рік. Існує необхідність забезпечення даних обсягів підстилки із існуючих видів сировини. Збільшення виробництва м'яса птиці ставить проблему пошуку нового типу підстилкового матеріалу, можливим вирішенням цієї проблеми може бути переробка соломистої частини врожаю колосових культур (соломи).

Розробка багатофункціональної машини для переробки соломистої частини врожаю колосових культур та виробництва соломистого підстилкового матеріалу із заданими показниками якості є актуальним завданням.

Для досягнення вищевказаних цілей щодо підвищення рентабельності та зменшення собівартості виробництва 1 кілограма м'яса птиці (бройлерів) необхідна створення новітніх наукових методологій та прийомів виробництва м'ясної продукції. Дані прийоми передбачають зниження витрат за кормові добавки, підстилочних матеріал, електричну енергію та інші ресурси.

У птахівництві використовують 3 основні техніки вирощування кросів птиці, які є вирощуванням на підстилці, зростанням птиці в клітинних батареях і застосуванням сітчастих підлог.

Дана технологія утримання птиці на глибокій підстилці має низку певних переваг. Для птиці даний спосіб утримання є найбільш природним, при цьому вирощування птиці відбувається з підвищеною живою масою [1, 2].

У той же час ця технологія має і недоліки:

- необхідність використовувати підстилку із необхідними показниками;
- дефіцитність сировини для підстилкового матеріалу;
- запиленість повітря та погіршення мікрокліматичних показників;
- підвищений вміст бактерій та суперечка грибів мікроскопічних..

Технологія вирощування птиці на глибокій підстилці є найбільш застосовуваною та обґрунтованою. На відміну від вирощування бройлерів на сітчастих полах і в клітинних батареях, метод вирощування на підстилковому матеріалі є найбільш природним для утримання птиці. У зв'язку з цим дана технологія є найбільш поширеною [3].

На основі аналізу статистичних даних щодо зборів урожаю та вимог до різних продуктів різних галузей АПК (птахівництво, кормовиробництво, виробництво біопалива, будівництво з органічних матеріалів) було розроблено систему критеріальної оцінки соломистого матеріалу для подальшої переробки.

Є велика кількість сучасних силосозбиральних комбайнів, соломоподрібнювачів, силосорізок. Це пов'язано з різним комбінуванням у їх схемах відомих робочих органів і вузлів, різними способами їх агрегування з енергетичними засобами. Подрібнювачі відрізняються один від одного нормою робочого органу подрібнення, подачею маси на подрібнення.

Барабанний і дисковий різальний апарат характеризуються примусовою подачею маси під ножами, що подають вальцями. Теоретична довжина різання залежить в цьому випадку від швидкості подачі маси, положення стебел щодо леза ножа, швидкості різання, кількості ножів. Відзначено, що ці подрібнювальні апарати забезпечують задовільну рівномірність різання. Подрібнювачі, з примусовою подачею маси на подрібнення, характеризуються тим, що справжня довжина різання відхиляється від теоретичної на величину, що залежить від прослизання вальців щодо стебел. Крім зазначених положень, помітне впливом геть довжину різання надає початкова довжина стебел, продуктивність подрібнювача, вологість стебел і низку інших параметрів.

За результатами проведеного аналізу виявлено, що існує наступна проблема. Для зниження собівартості м'ясо птиці та поліпшення технології підлогового вмісту птиці можливо використовувати соломисту частину врожаю колосових культур. При цьому перероблена солома має відповідати певним технологічним вимогам утримання птиці. На даний момент існує комплекс машин, призначених для подрібнення соломистої частини та стеблових кормів. Також проведено аналіз пневмосепараторів зернового вороху для фракціонування та відділення пилоподібної фракції на основі аеродинамічних властивостей. Проведений аналіз технічних засобів виявив, що на даний момент не існує машини, в якій поєднувалися б основні операції необхідні для переробки соломи (транспортування, подрібнення, повітряне фракціонування). Не існує машини, яка б забезпечувала отримання підстилкового матеріалу із соломи із заданими показниками якості (довжина різання).

В роботі розроблено структурну схему переробки соломистої частини врожаю колосових культур з описом взаємозв'язків окремих технологічних операцій: подрібнення, повітряне фракціонування. Обґрунтовано схему переробки соломистої частини врожаю колосових культур (соломистого матеріалу) у підстилковий матеріал для птахофабрик. На основі аналізу представленої моделі та схеми переробки соломистого матеріалу в підстилку для вмісту птаха для підлоги визначено основні значення вмісту дрібних домішок $< 7\%$, вміст сміттєвих домішок $< 3\%$ та вміст основної фракції подрібненого соломистого матеріалу $> 80\%$.

Отримано закономірності проходу у відсотковому співвідношенні основної фракції, дрібної фракції, пилоподібної фракції в залежності від заданих характеристик (швидкості повітряного потоку (м/с), ширини, глибини пневмоканалу (м)) через весь переріз проходу компонентів. Виявлено відсутність статистично значущих відмінностей між оціночними та розрахунковими величинами маточин величини вмісту дрібної фракції соломи після сепарації в пневматичному каналі.

Встановлено, що якість фракціонованого соломистого матеріалу залежить від конструктивно-технічних параметрів пневмоканалу при максимальному поданні подрібненого матеріалу 8,5 т/год. При цьому виявлено основні показники: швидкості повітряного потоку 6-7 м/с при ширині аспіраційного пневмоканалу 0,3 м, глибині аспіраційного пневмоканалу 0,3 м.

Список джерел посилання

1. Вакуленко Ю. О. Сучасні системи і засоби утримання курей-несучок / Ю. О. Вакуленко // Зб. наук. пр. НУБіП України. – № 1 (134), січень 2014. – С. 19-23.
2. Смоляр В. Птахівництво на виставці «Euro Tier2010» / В. Смоляр // Техніка і технології АПК. – 2011. – № 6. – С. 41-42. <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598763>
3. Смоляр В. На шляху створення сучасних господарств для утримання курей / В. Смоляр, О. Кришталь, Ю. Гулик // Техніка і технології АПК. – 2018. – № 8-9. – С. 14-16

УДК 629.3.048.4

УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ СИДІННЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ШКІДЛИВОГО ВПЛИВУ ВІБРАЦІЇ НА ВОДІЯ

*Герасименко Р. П., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Падалка В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

У сучасних умовах розвиток сільського господарства можливий за рахунок інтенсифікації виробництва на основі комплексної механізації та підвищення енергоозброєності, зокрема покращення агротехнічних, технологічних та загальнотехнічних показників машинно-тракторних (МТА) та тракторно-транспортних (ТТА) агрегатів, визначальною тенденцією вдосконалення яких є підвищення потужності використовуваних тракторів. Однак створення більш швидкісних мобільних енергетичних засобів підвищеної потужності призводить до збільшення вібраційного навантаження робочого місця оператора.

Розрізняються вільні та вимушені коливання. Вільні коливання є загасаючими і з'являються під впливом внутрішніх сил. Вимушеними коливаннями є коливання, які здійснюються внаслідок впливу періодичної збурюючої сили

Відповідно до ISO 10056: 2001. «Вібрація. Терміни та визначення» під вібрацією розуміється рух точки або механічної системи, при якому відбуваються коливання скалярних величин, що характеризують його не допускаючи порушення меж цього поняття, наводять розширене визначення вібрації як рух точки або механічної

системи, при якому відбуваються почергові зростання і спад у часі значень, принаймні однієї координати [1, 2].

По відношенню до предмета дослідження, вібрація - механічні коливання (вільні або вимушені), що виникають при проходженні рушієм мобільного енергетичного засобу нерівностей дорожнього покриття, через роботу елементів двигуна, також під дією аеродинамічних та інших сил, основна збудлива частота яких складати від кількох одиниць до тисяч герц.

Параметрами, що характеризують вібрацію, є:

- А (амплітуда) - величина найбільшого відхилення вагається від положення рівноваги, м;
- Т (період коливань) - час між двома послідовними однаковими станами системи, с;
- f (Частота) - показник, що характеризує періодичність процесу, рівну кількості повторень за одиницю часу, Гц. Частота пов'язана з періодом найпростішим взаємини $f = 1/T$, визначає повторюваний процес і дорівнює кількості повторень на одиницю часу.

В даний час опубліковано значну кількість робіт, предметом вивчення яких є аналіз коливань транспортного засобу, плавності ходу та його віброзахисних властивостей, з них багато присвячені дослідженню та розробці механізмів, що сприяють поліпшенню параметрів підресорювання [3, 4]. Проте проблеми зниження вібронавантаженості тракторно-транспортних агрегатів, що виконують перевезення вантажів сільськогосподарського на значення в умовах відсутності якісного дорожнього покриття, досліджені недостатньою мірою.

Розроблений спосіб управління пружнодемпфуючими властивостями запропонованої конструкції підвіски сидіння залежно від профілю опорно поверхні, дозволив домогтися високої ефективності гасіння вертикальні: прискорень на сидіння ТТА, за рахунок застосування розробленої раціональної характеристики

За результатами лабораторних і дорожніх досліджень були уточнені всі необхідні константи, що використовуються в математичній моделі - жорсткості шин, координати положення центру тяжіння, навантаження на передні і задні мости і момент інерції кістяка, що дозволило забезпечити високий ступінь сходи результатів теоретичних і практичних досліджень. При оцінці адекватності результатів дорожніх випробувань нами не проводилося порівняння графіків переміщення підресореної частини підвіски сидіння з водієм,

так як при швидкості наїзду на перешкоду більше 6 км/год відбувалися неконтрольовані пробої пружного елемента серійної підвіски сидіння і відрив оператора від подушки сидіння у теоретичній моделі врахувати дуже складно. Крім цього, мала тривалість дослідів при переїзді нерівності (менше 15 секунд) призводить до того, що будь-які непередбачувані рухи оператора значно знижують ступінь збіжності практичних і досліджених даних.

У розробленій нами конструкції передбачена можливість зміни моментів автоматичного перемикання, що призводить до зміни пружної характеристики підвіски сидіння. Це дозволяє регулювати безпосередньо в процесі експлуатації її середньозважену жорсткість.

Момент відключення визначається електронним блоком управління за розробленим алгоритмом на підставі сигналу від датчиків вертикальних прискорень і положення сидіння, де керований дросель має можливість зміни прохідного перерізу, що дозволяє адаптувати пружно -демпфуючи характеристики під зміни агрофона опорної поверхні, побудованого за принципами автоматизованого управління механотронних систем. При цьому керування прохідним перерізом дроселя здійснюється за рахунок роботи ЕБУ крокового двигуна, який через зубчасту передачу обертає золотник.

Максимально допустима швидкість руху ТТА з підвіскою серійної конструкції становить 25 км/год. Подальше зростання швидкості руху призводить до перевищення коригованого рівня вертикальних прискорень, що встановлюється санітарними нормами як допустимий - 130 дБА. При цьому використання установка дослідної конструкції підвіски сидіння дозволяє зберегти коригований рівень вертикальних.

Розроблено методику визначення раціональних обсягів пневмогідравлічних акумуляторів пропонованої конструкції підвіски сидіння, що дозволяє підібрати ПГА з раціональним об'ємом пневматичної порожнини для реалізації прогнозованої пружної характеристики підвіски сидіння.

Використання математичної моделі показало, що зі зростанням початкової швидкості руху колісного ТТА коригований рівень вертикальні: прискорень із серійною підвіскою зростає з 105,5 дБА при швидкості руху 5 км/год до 137,7 дБА при швидкості 35 км/год, у той час як при використанні адаптивної підвіски сидіння він становить 104,6 дБА і змінюється до 129,7 дБА. 31,5Гц. З дослідною підвіскою сидіння зростання СКЗ вертикальних прискорень знаходиться в 5-й та 6-ї смузі з СГЧ 16 та 31,5 Гц.

Список джерел посилання

1. ISO 10056: 2001. Mechanical vibration – Measurement and analysis of whole – body vibration to which passengers and crew are exposed in vehicles.
2. EN 1032: 2003 Mechanical vibration – Testing of mobile machinery in order to determine the vibration emission value.
3. Jacklin H/W/ Human reaction to vibration / H.W. Jacklin// SAE journal 39.- 1936.-P. 401-408.
- 4 VDI Richtlinien №r 2057 Beurteilung der Einwirkung mechanischer schwingungen auf den Menschen, 1961 – 36 S.
<https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598763>

ОХОРОНА ПРАЦІ ПІД ЧАС РОБОТИ ЗІ СПЕЦТЕХНІКОЮ

*Дрожжана О. У., старша викладачка,
Полтавський державний аграрний університет*

Спеціалізована техніка є важливим елементом багатьох галузей промисловості. Без застосування різних видів спецтехніки неможливо представити сучасне будівництво, гірничодобувну промисловість, сільське господарство та багато інших галузей. Однак разом із зростаючою технологізацією процесів приходить і підвищена відповідальність за забезпечення безпеки праці при роботі з цими потужними механізмами.

Спецтехніка включає в себе широкий спектр технічних засобів: від будівельних кранів і екскаваторів до спеціалізованих вантажівок і сільськогосподарських машин. Кожен вид техніки має свої особливості, які створюють специфічні ризики для працівників.

Безпека під час роботи зі спецтехнікою ґрунтується на ряді ключових принципів, серед яких [1]:

- навчання та підготовка персоналу: кожен оператор спецтехніки повинен пройти відповідне навчання та сертифікацію для роботи з конкретним обладнанням;
- правильна експлуатація та обслуговування: спецтехніка вимагає регулярного і правильного обслуговування, щоб забезпечити безпечні умови роботи;
- використання індивідуальних засобів захисту: при роботі зі спецтехнікою важливо використовувати відповідні індивідуальні засоби захисту ;

- дотримання правил безпеки: працівники повинні завжди слідувати встановленим правилам безпеки.

Охорона праці при роботі зі спецтехнікою регламентується низкою законодавчих і нормативних вимог. Ці нормативи передбачають обов'язкові вимоги до навчання персоналу, технічному складу обладнання, а також організації робочого процесу.

Законодавча база (закони та правила) регулює безпеку при роботі зі спецтехнікою, включає вимоги до навчання операторів, сертифікації обладнання та регулярні перевірки безпеки.

Галузеві стандарти також відіграють важливу роль в забезпеченні безпеки праці при роботі зі спецтехнікою. Вони часто містять більш докладні та спеціальні вимоги, які можуть бути адаптовані для конкретних видів техніки чи галузей промисловості.

Системи менеджменту безпеки дозволяють підприємствам систематично контролювати та підвищувати безпеку праці у своїх процесах, включаючи роботу зі спецтехнікою [2].

Для попередження виникнення небезпечних ситуацій і ризиків для працівників при роботі зі спецтехнікою рекомендується проактивний підхід до охорони праці. В основі цього підходу лежить ідея, що безпека є невід'ємною частиною процесу роботи, а не тільки реактивним заходом, спрямованим на усунення наслідків аварій та інцидентів.

Заходи, які можуть бути прийняті для реалізації проактивного підходу, включають:

- ризик-аналіз: проведення регулярного аналізу ризиків, пов'язаних з роботою спецтехніки, для ідентифікації та усунення потенційних небезпек;

- проєктування безпеки: врахування вимог безпеки на етапі проєктування та розробки спецтехніки;

- навчання та підготовка: регулярне навчання і підготовка персоналу для забезпечення їх компетентності в питаннях безпеки при роботі зі спецтехнікою;

- комунікація та інформування: забезпечення належної комунікації та інформування працівників про правила безпеки, потенційні ризики та дії у випадку аварії [1].

Охорона праці при роботі зі спецтехнікою – це комплекс заходів, спрямованих на запобігання професійним захворюванням та травмам при виконанні працівниками своїх трудових обов'язків. Це важливий

аспект роботи будь-якого підприємства, що використовує спецтехніку у своїй діяльності.

Забезпечення безпеки праці вимагає комплексного підходу, що включає відповідне навчання та підготовку персоналу, правильне обслуговування та експлуатацію обладнання, використання індивідуальних засобів захисту та дотримання правил безпеки.

Важливість охорони праці не може бути недооцінена. Від її ефективності залежить не тільки здоров'я та безпека працівників, але й загальна ефективність роботи підприємства, його репутація та фінансове благополуччя.

Список джерел посилання

1. Березуцький В.В. Ризик орієнтований підхід в охороні праці: монографія. LAP Lambert Academic Publishing, 2019. 108 с. URL: https://www.duikt.edu.ua/uploads/l_2069_45398055.pdf
2. Голінько В.І. Управління безпекою в професійній діяльності: навч. посіб. Дніпро: НТУ «ДП», 2018. 156 с. URL: <https://ir.nmu.org.ua/handle/123456789/156065>

УДК 664.013

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОЦЕСУ РІЗАННЯ ТА ПОДРІБНЕННЯ МАТЕРІАЛІВ

*Дудник Д. В., здобувач освітньо-професійного ступеня фахового молодшого бакалавра, ВСП Полтавський політехнічний фаховий коледж НТУ «Харківський політехнічний інститут»,
Зінченко С. П., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Дудник В. В., кандидат технічних наук, доцент, Полтавський державний аграрний університет*

Процес різання є одним із ключових технологічних процесів у багатьох галузях, де необхідно розділити матеріал на частини або надати йому певну форму. Різання та подрібнення мають спільну фізичну природу – руйнування матеріалу під дією зовнішніх механічних сил. Проте різання відрізняється від подрібнення тим, що дозволяє отримувати продукт з чітко визначеною формою, розмірами та якісною поверхнею.

Процес різання включає дві основні складові: роботу по об'ємній деформації матеріалу та роботу по утворенню нових поверхонь [1].

Згідно з теорією дроблення, розвиненою Стедлером [2], енергія пружної деформації об'єму руйнування пропорційно змінюється об'єму або масі шматка, що подрібнюється, при цьому не враховується енергія, витрачена на створення нових поверхонь. За гіпотезою Ріттенгера [2] навпаки, вся витрачена робота йде на формування нових поверхонь, і робота дроблення пропорційна площі утвореної поверхні. На практиці ж обидві гіпотези не відображають весь процес подрібнення, оскільки фактично робота реалізується одночасно і на об'ємну деформацію, і на утворення нових поверхонь [3]. Для продукту зі середнім ступенем подрібнення пропонується рівняння, за яким робота дроблення пропорційна середньгеометричному об'єму та поверхні шматка [2].

Незважаючи на різноманіття механічних процесів, що відбуваються при різанні (стиснення, зрушення, зріз тощо), їх сумарна дія спрямована на подрібнення матеріалу, тобто поділ його на частини під дією зовнішніх сил. Якщо зменшення розмірів сировини відбувається без формування певної конфігурації готового продукту, такий процес називають дробленням, а у разі надання матеріалу конкретної форми, розміру та якості поверхні – різання.

При різанні відбувається руйнування прикордонної кулі матеріалу в зоні контакту з інструментом, який передусє пружній та пластичній деформації. Інтенсивність деформацій залежить від структури матеріалу, швидкості його деформування, фізико-механічних властивостей та умов процесу. Руйнування відбувається по лініях максимальних напружень і настає, коли напруження досягає межі міцності матеріалу. Енергія, витрачена на різання, витрачається на створення пружних та пластичних деформацій, подолання сил тертя та інерційних опорів.

Поведінка матеріалів у процесі руйнування характеризується чисельними класифікаційними ознаками. Сучасна класифікаційна схема дозволяє найбільш повно відобразити взаємодію інструменту та матеріалу, а також ефекти, зумовлені параметрами інструменту [1].

Для різних матеріалів застосування того чи іншого виду різання відрізняється, а іноді певний метод узагалі непридатний. Тому класифікація різання за технологічними ознаками передбачає детальне вивчення та врахування фізико-механічних, а головним чином реологічних властивостей матеріалів. Це дозволяє розглядати науку

про різання як комплекс, що складається з трьох окремих розділів: різання пуансоном, різання різцем та різання лезом. Кожен розділ охоплює повний спектр теоретичних та практичних аспектів для відповідних матеріалів. Наприклад, закономірності, встановлені для різання лезом одного матеріалу, можуть застосовуватися і до інших, з урахуванням їх специфічних фізико-механічних властивостей. Такий підхід спрощує визначення універсальних закономірностей для різних матеріалів.

Важливим фактором процесу різання є кут ковзання ножа. Дослідниками виділено два види різання лезом: нормальне (статичне) та слизове [4]. При нормальному різанні різальний інструмент спочатку ущільнює матеріал, а потім руйнує його, формуючи поверхню зрізу, яка часто виходить рваною. Ковзне різання забезпечує місцеве ущільнення матеріалу ріжучою кромкою, завдяки чому поверхня зрізу виходить більш гладкою.

Що стосується впливу кута ковзання леза на роботу та питому роботу різання, то в літературі існують різні точки зору. Дослідники [2] зазначають, що найменша питома робота спостерігається при рубуючій дії леза, при цьому зі збільшенням кута ковзання спочатку питома робота зростає повільно, а після досягнення 70° – значно інтенсивніше.

Експериментальні дослідження показали, що у певному діапазоні збільшення кута ковзання є енергетично вигідним: робота та питома робота різання зменшуються при куті до 25° , а при подальшому збільшенні – зростають.

За даними [1], мінімальне значення питомої роботи для різних матеріалів досягається при куті ковзання леза $P = 30-50^\circ$, після чого спостерігається поступове прискорене збільшення питомої роботи. При різанні м'яса найбільш ефективний діапазон кута ковзання леза становить $p = 45-60^\circ$, що забезпечує значне зменшення енерговитрат.

Отже, на процес подрібнення та різання впливають як об'ємні деформації матеріалу, так і утворення нових поверхонь, тому реальна енерговитрата є з'єднанням двох цих складових. Різання як технологічний процес підпорядковується закономірностям взаємодії інструмента з матеріалом і характеризується винятковими механізмами руйнування залежно від типу інструмента.

Список джерел посилання

1. Закалов О., Бортник А. Дослідження процесу подрібнення м'яса у ножовому подрібнювачі періодичної дії. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. 2008. № 2 (Т.14). С. 85-91.
2. Батраченко О.В. Науково-практичні основи вдосконалення машин для подрібнення м'ясної сировини: дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.12. Харків, 2021. 574 с.
3. Новицький В.С., Чепелюк О.М., Чепелюк О.О. Імітаційне моделювання процесу тонкого подрібнення м'ясної сировини. *Тренди Lean-виробництва та пакування харчової продукції: Мат. 13 Міжн. спеціалізованої наук.-практ. конф., 17 вересня 2024 р.* 2024. С. 12-14.
4. Hammer G., Stoyanov S. Uber das Kattern von Bruhwurstbrat. *Mitteilungsblatt der Fleischforschung Kulmbach*. 2008. (47), P. 243-251.

УДК 629.113.012.5

ВПЛИВ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТЕПЛОВІ ТА АЕРОДИНАМІЧНІ ПОКАЗНИКИ АВТОМОБІЛЬНИХ РАДІАТОРІВ

*Лихошерст І. С., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Дудник В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Ефективна робота системи охолодження автомобільного двигуна значною мірою залежить від теплових та аеродинамічних характеристик радіатора. Одним із ключових факторів, що впливають на ці характеристики, є конструктивне виконання радіатора, зокрема крок розташування ребер та наявність турбулізаторів. Оптимальний вибір цих параметрів дозволяє підвищити коефіцієнти теплопередачі, покращити тепловіддачу та знизити аеродинамічний опір, що, у свою чергу, підвищує ефективність охолодження двигуна та знижує енергетичні витрати.

Метою проведення стендових випробувань було визначення впливу конструктивних параметрів автомобільних радіаторів – зокрема кроку розташування ребер та турбулізаторів типу «жалюзі», а також режимів їх роботи – на основні енергетичні характеристики: коефіцієнт теплопередачі k , коефіцієнт тепловіддачі від радіатора α_2 та

аеродинамічний опір ΔP_2 [1].

Для дослідження впливу кроку ребер було випробувано три мідні трубчасто-пластинчасті радіатори, що мали різний крок розташування ребер [2]. Це дало можливість визначити залежності коефіцієнтів теплопередачі та аеродинамічного опору для досліджуваних радіаторів (рисунки 1, 2).

У ході опрацювання експериментальних даних отримано параметричні та критеріальні залежності коефіцієнтів теплопередачі та аеродинамічного опору від масової швидкості повітря перед радіатором для трьох варіантів кроку ребер:

- для $t_p = 1,29$ мм:

$$\begin{aligned} k &= 37,719 \cdot u_{2\phi p}^{0,497}; \quad Nu_2 = 0,2429 \cdot Re_2^{0,524}; \\ \Delta P_2 &= 8,89 \cdot u_{2\phi p}^{1,489}; \quad Eu_2 = 80,214 \cdot Re_2^{-0,471}; \end{aligned} \quad (1)$$

- для $t_p = 1,88$ мм:

$$\begin{aligned} k &= 52,733 \cdot u_{2\phi p}^{0,465}; \quad Nu_2 = 0,4706 \cdot Re_2^{0,493}; \\ \Delta P_2 &= 5,0809 \cdot u_{2\phi p}^{1,588}; \quad Eu_2 = 31,576 \cdot Re_2^{-0,364}; \end{aligned} \quad (2)$$

- для $t_p = 2,25$ мм:

$$\begin{aligned} k &= 45,2 \cdot u_{2\phi p}^{0,493}; \quad Nu_2 = 0,3806 \cdot Re_2^{0,52}; \\ \Delta P_2 &= 4,6112 \cdot u_{2\phi p}^{1,608}; \quad Eu_2 = 27,645 \cdot Re_2^{-0,343}. \end{aligned} \quad (3)$$

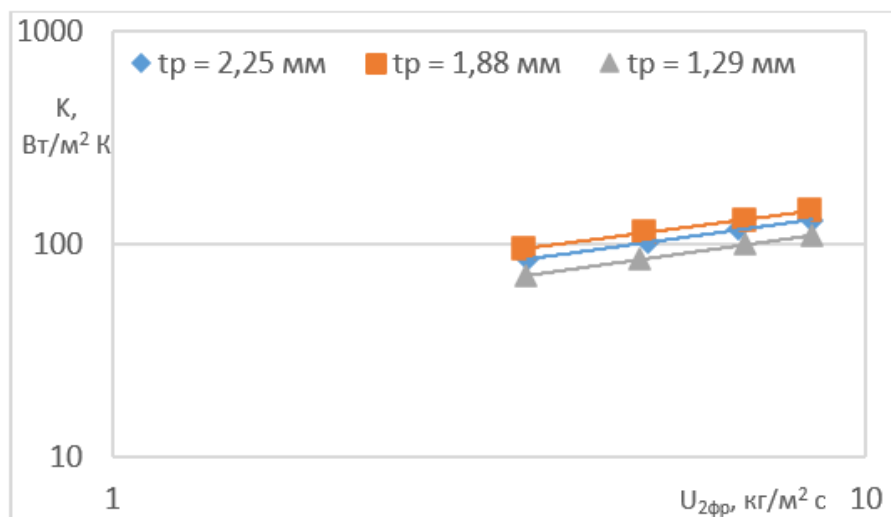


Рисунок 1 – Зміна коефіцієнта теплопередачі k залежно від масової швидкості повітря $u_{2\phi p}$

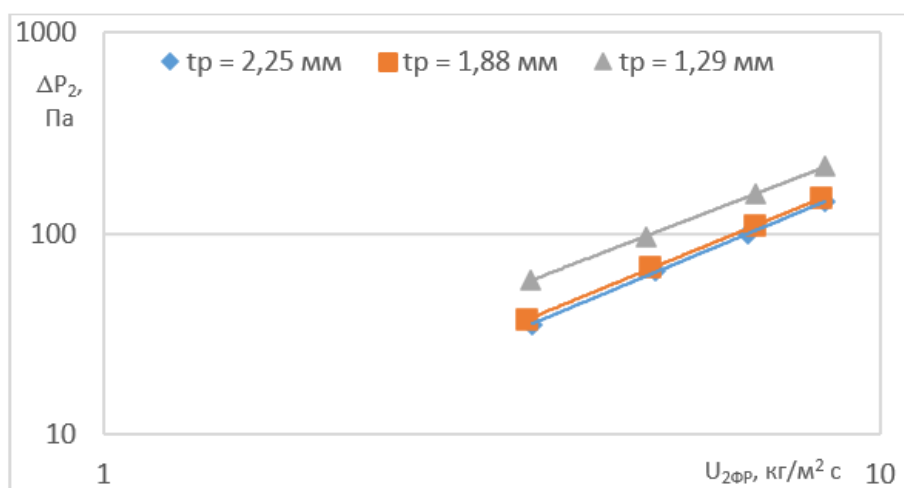


Рисунок 2 – Зміна аеродинамічного опору ΔP_2 залежно від масової швидкості повітря $u_{2фр}$

Здобуті рівняння є коректними у межах масової швидкості повітря $u_{2фр} = 2,5 \dots 9$ кг/м²·с та чисел критерію Рейнольдса $Re_2 = 350 \dots 1400$.

Вивчення радіаторів із різним кроком розташування ребер дозволило сформулювати комплексні рівняння у параметричній та критеріальній формах, які враховують вплив як швидкості повітря, так і кроку ребер на енергетичні характеристики радіатора [3]:

- для коефіцієнтів теплопередачі і тепловіддачі:

$$k = 6,6857 \cdot G_2^{0,485} \cdot \left(\frac{t_p}{L} \right)^{0,379} \quad (4)$$

$$Nu_2 = 3,8096 \cdot Re_2^{0,532} \cdot \left(\frac{t_p}{L} \right)^{0,8} \quad (5)$$

- для аеродинамічного опору:

$$\Delta P_2 = 2,1418 \cdot 10^{-5} \cdot G_2^{1,561} \cdot \left(\frac{t_p}{L} \right)^{-0,831} \quad (6)$$

$$Eu_2 = 11,5441 \cdot Re_2^{-0,429} \cdot \left(\frac{t_p}{L} \right)^{-0,467} \quad (7)$$

де G_2 - витрата масової частки повітря, кг/год;

L - глибина радіатора, м.

Отримані рівняння справедливі в межах значень при

$$\frac{t_p}{L} = 0,03 \dots 0,06$$

В результаті проведених випробувань визначено енергетичні

характеристики мідних трубчасто-пластинчастих радіаторів із круглими трубками, поданих як у вигляді графіків (рис. 1...2) так і математичних залежностей (1...7), що можуть бути використані для уточнення математичної моделі системи охолодження автомобільного двигуна та вибору оптимального кроку розташування ребер.

Отже, порівняння експериментальних значень коефіцієнта теплопередачі з теоретичними розрахунками показало їх високу відповідність. Це підтверджує достовірність теоретичної моделі, що описує залежність коефіцієнта теплопередачі від геометричних параметрів радіатора.

Список джерел посилання

1. Куликов Ю.А., Гончаров А.В., Семенова Н.Ю. Теоретичні та експериментальні дослідження процесу конвективного теплообміну в радіаторах систем охолодження двигунів внутрішнього згоряння автомобілів. *Вісник автомобільно-дорожнього інституту ДонНТУ*. 2007. № 1 (4). С. 62-70.

2. Куліков Ю.А., Ткаля В.С., Богданова В.І. Енергетичні характеристики радіаторів трубчасто-пластинчастого типу Харків: Віща школа, 1984. 143 с.

3. Zhang J., Xu Z., Lin J., Lin Z., Wang J., Xu T. Thermal Characteristics Investigation of the Internal Combustion Engine Cooling-Combustion System Using Thermal Boundary Dynamic Coupling Method and Experimental Verification. *Energies*. 2018. Vol. 11(8). P. 2127.

УДК 631.3

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ СОШНИКА ПОСІВНОГО АГРЕГАТУ ЗОДНОЧАСНИМ ВНЕСЕННЯМ ДОБРИВ

Матвієнко Р. О., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),

Чумак М. В., асистент,

Падалка В. В., кандидат технічних наук, доцент,

Полтавський державний аграрний університет

У технології обробітку зернових культур однією з основних операцій є посів. При цьому одним із головних факторів якісного посіву є закладення насіння на задану глибину. Рекомендована глибина

посіву насіння в сухому регіоні становить 5...6 см. При відхиленні від заданої глибини загортання насіння знижується врожайність культури. Дотримання агротехнічних вимог під час посіву та внесення мінеральних добрив, що виконується сошниками є важливим параметром [1, 2]. У сучасних умовах рослинництва, широко застосовуються ресурсозберігаючі технології сівби. У ресурсозберігаючій технології якісний посів характеризує два фактори. По-перше, рівномірний розподіл насіння за площею та глибиною посіву. По-друге, внесення мінеральних добрив нижче або осторонь рівня насіння.

Проведений аналіз конструктивних рішень сільсько-господарських агрегатів та робочих органів (сошників), призначених для диференційованого пошарового посіву насіннєвого матеріалу та мінеральних добрив, виявив дві ключові дослідницькі парадигми.

Перша парадигма зосереджена на детермінації оптимальних експлуатаційних та геометричних параметрів сошників, здатність утримувати задану глибину переміщення та мінімізувати на них вплив мікро- та макронерівностей поверхні поля.

Друга парадигма акцентує увагу на дослідженні динамічної стійкості ходу сошника, яка розглядається як функціональна залежність від кута відхилення шарнірно-важільного повідкового механізму відносно вертикальної площини, що враховує амплітудно-частотні коливання як власної системи так і збурюючих факторів.

Стійкість ходу сошників по глибині при постійній поступальній швидкості сівалки залежить від довжини повідця, ваги сошника, кута нахилу повідця і залежить від швидкості поступального руху сівалки. Об'єктом дослідження є комбінований сошник із паралелограмним механізмом навішування, встановлений на сівалці-культиваторі.

Аналіз існуючого патентного фонду та конструктивних рішень сошників посівних агрегатів, призначених для диференційованого пошарового закладення насіннєвого матеріалу зернових культур і мінеральних добрив, демонструє значну конструктивну різноманітність. Незважаючи на це, емпіричні дані свідчать про перманентну проблему забезпечення високої рівномірності розподілу насіння по вертикальній осі (глибині посіву).

Зважаючи на симетричну форму сошника відносно поздовжньо вертикальної площини, можна відзначити, що дія сил опору праворуч і ліворуч призводить до однієї рівнодіючої R , що знаходиться в площині симетрії сошника. Такий висновок справедливий лише, коли

сошник працює в однорідному за складом та за станом ґрунту; інакше неминуче одностороннє вплив, не врівноважене з іншого боку. І так, при роботі в однорідному ґрунті через симетричну форму сошника всі три вказані сили G , F_n та R можна вважати розташованими в одній площині, а отже, що зводяться до однієї рівнодіючої [3].

Сошник знаходиться в рівновазі при виконанні наступної умови:

$$R + m + G + h + F_n = 0,$$

де F_n - сила тиску пружини на повідець; R – рівнодіюча сила опору на сошник; G – сила тяжіння сошника.

Експериментальні дослідження при швидкості руху сошника $v=2,5$ м/с показують, що стійкість ходу сошника корелюється з нерівномірністю глибини загортання насіння, кореляційне відношення становить 0,8. Це свідчить у тому, характер зв'язку - сильний. При середній глибині загортання насіння рівною 6,96 см міжгрупова дисперсія становить 0,72 см, а загальна дисперсія – 0,9 см, тобто відповідає агротехнічним вимогам (± 1 см).

Невеликий кут відхилення паралелограмної підвіски сошника від рівноважного положення показує, що створюваний нею момент сприймається горизонтальними важелями механізму. Верхня тяга під дією моменту опору з боку ґрунту стискатиметься, а нижня розтягуватиметься. Тому паралелограмний механізм краще копіюють нерівності мікрорельєфу, тим самим забезпечує стійкість ходу сошника по глибині загортання насіння.

На підставі проведених теоретичних досліджень стійкості руху комбінованого сошника з паралелограмним навішуванням можна констатувати, що дана конструкція навішування сошника застосовна до сівалок для посіву насіння зернових культур.

Проведення дослідів здійснювалося із застосуванням насіння пшениці та зернових сівалок. Для визначення рівномірного розподілу зернівки вироблялося накладення квадратної рамки, що має розміри 25 x 25 см., яка містить квадрати 50x50 мм. На ділянці завдовжки 3 м дана рамка накладалася п'ять разів по ходу руху сівалки. Підрахунок кількості насіння проводився у кожному квадраті рамки. Ряди клітин, розташовані вертикально, відповідали розподілу зернівки по ходу руху сошника, а горизонтальні відповідали ширині захвату робочого органу. Під час проведення дослідів підраховувалася кількість насіння у кожній клітині сітки. Після отримання експериментальних даних вони оброблялися за допомогою методів математичної статистики, з

виявленням математичного очікування, коефіцієнта варіації, а так само дисперсії. Рівномірний розподіл рослин за площею знаходилося на сходах, після того, як вони повністю з'явилися. Рівномірність оцінювалася так само із застосуванням рамки, яка розбита на рівні квадрати (5х5см.), вважаючи кількість квадратів із рослинами (1, 2, 3... n). Для більш достовірних даних виміри проводилися щонайменше 3 раз. За цією програмою та наведеними методиками виконання експериментальних досліджень було визначено ключові параметри, а також режими функціонування дводискового сошника для смугового способу посіву зернових культур.

Обробка експериментальних досліджень дозволила виявити, що нерівномірність глибини загортання насіння на глибину 7 см знаходяться в досить тісному зв'язку з включеними в модель параметрами. Причому загальна дисперсія становить 0,9см, міжгрупова дисперсія 0,72см при швидкості руху сошника $v = 2,5$ м/с.

Список джерел посилання

1. Shepelev, S.D., Pyataev, M.V., Shalonkina, E.V. (2023). Theoretical and Experimental Studies of the Tractive Resistance of a Spring-Tooth Harrow with a Parallelogram Section Mount System. In: Radionov, A.A., Gasiyarov, V.R. (eds) Proceedings of the 9th International Conference on Industrial Engineering. ICIE 2023. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, https://doi.org/10.1007/978-3-031-38126-3_32

2. Rud, A. (2025). Analysis of deformation characteristics of spring elements of tillage tools under dynamic loads. Machinery & Energetics, 16(1), 43-53. doi: 10.31548/machinery/1.2025.43

3. Modeling of Resonance Phenomena in Self-Oscillating System of Agricultural Machines Padalka, V., Liashenko, S., Kalinichenko, A., V.Sakalo, V., Padalka, Y. Proceedings of the 20th IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems, 2021 <https://doi.org/10.1109/MEES52427.2021.9598763>



УДК 631.3

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СЕПАРАТОРА ЗЕРНА З АКТИВНИМИ ПЛОСКИМИ РЕШЕТАМИ

*Міров Д. В., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Падалка В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Наразі у сільському господарстві однією з основних є проблема очищення зерна, зібраного комбайнами, які у свою чергу протягом останніх років помітно додали у потужності та продуктивності. Машини, агрегати та комплекси післязбиральної обробки зерна, що знаходяться на озброєнні господарств з 70-80-х років, зношені, та й їх продуктивність поступається обсягам зернового вороху, що надходить з полів, та часто не влаштовує сільських товаровиробників. Проте, технічний рівень машин помітно знизився в порівнянні з досягнутим раніше [1-3].

Зарубіжна зерноочисна техніка різних марок досить добре зарекомендувала себе у сільських товаровиробників, але при цьому не кожне підприємство може дозволити собі їх придбання, оскільки рівень цін на імпортні машини та інших витрат, пов'язаних з їх експлуатацією, в нинішніх економічних умовах виявляється не на користь купівлі машин зарубіжних фірм.

Для вирішення цих проблем необхідно вдосконалювати технології та технічні засоби, підвищувати їхню продуктивність. Широке використання перспективних сучасних зерноочисних машин дозволить знизити видатки обробку зерна.

Основна класифікація типів решіт за призначенням поділяються на дільні решета, що призначені для поділу зернової суміші на дві частини (наприклад, для поділу суміші на два решітних яруси або працюючі як збагачувачі). Фракційні решета призначені для поділу вихідного матеріалу на дві фракції, що відрізняються, як правило, за розмірами. Проходові решета мають найбільші отвори в розмірному ряду решіт, що пропускають через себе основну частину зерна. Вони призначені для виділення із зернового вороху великих та соломистих домішок. Сходові решета можуть використовуватися як сортувальні, або як підсівні для очищення зерна від дрібних домішок.

Як і будь-який процес, рух зерна (зернової суміші) по решетам

визначається такими параметрами: переміщення, швидкість, прискорення. Параметри відносного руху зерна по решітці - фізичні величини, що описують динаміку переміщення окремо взятої частинки по гладкій площині, що здійснює коливання. Для випадку руху безлічі зернівок або шару зерна за решетою їх визначення неможливе, оскільки силові впливи на окрему частину з боку інших носять імовірнісний характер. Кожна зернівка здійснює складний рух, що характеризується величинами переміщень вниз і вгору, швидкостей вниз і вгору, що результують швидкості руху по решітці. Параметри відносного руху зерна по решітці істотно впливають на якісну та кількісну сторону роботи решета.

Найбільш перспективними напрямками при створенні зерноочисних машин в даний час є: пошук універсальний, простий, багатофункціональний метод очищення зерна; розвиток методів очищення зерна від важковіддільних домішок за новими критеріями поділу; розвиток традиційних методів очищення та сепарації зерна.

Практично відсутні дослідження технологічного процесу сепарації зерна на решітках із прямокутними отворами, розташованими під кутом до поздовжньої осі решета.

Рівномірний розподіл зерна по ширині решета є одним із факторів, що зумовлюють ефективну роботу зерноочисної машини.

Застосування детермінованого підходу до вивчення процесу сепарації зерна дозволяє розрахувати кінематику руху частинки зернової суміші по решітці та перейти до якісних показників його роботи.

На основі зроблених висновків нами було встановлено, що одним із шляхів інтенсифікації процесу сепарації зерна є застосування решіток з прямокутними отворами, розташованими під кутом, що здійснює кругові рухи.

На підставі виконаних розрахунків переміщення зернівки по решітці можна зробити висновок, що при низькій частоті обертання час знаходження зернового вороху на решітці знижується, а при максимальній частоті збільшується, про що свідчить мала відстань між витками циклоїди. Таке переміщення зернівки по решітці збільшує ймовірність її попадання в отвір решета.

При цьому під час кругового руху орієнтація зернівки по відношенню до отворів решета змінюється в кілька разів швидше, ніж при зворотно-поступальному русі, тим суттєвіше зростає ймовірність її попадання в осередки решета. А зміна кута нахилу отворів щодо

поздовжньої осі решета, дозволяє збільшити пропускну здатність та підвищити якість поділу зернового матеріалу.

Теоретично встановлено, що розташування прямокутних отворів під кутом до напрямку руху зерна при кругових коливаннях збільшує ймовірність проходження частки в отвір у 1,74 рази при куті розташування отвору кромки $\beta = 45^\circ$.

За умовою максимальної продуктивності та заданою повнотою поділу, раціональний кут отворів решета для зерна пшениці повинен знаходитися в діапазоні від 30 до 60° , а частота обертання решета $\eta = 100 \dots 110 \text{ хв}^{-1}$.

Проведення активного запланованого експерименту здійснюється з метою обґрунтувати оптимальні параметри решета з похилими отворами. Критерієм оптимізації є повнота поділу зернової суміші. Оскільки експериментальні дослідження здійснювалися на підсівному решеті, що виділяє дрібні та щуплі домішки з основної культури, фактор втрат зерна за решетом не розглядається як впливає на якість роботи.

На підставі теоретичних та експериментальних досліджень отримано раціональні конструктивно-режимні параметри решета, що дозволяють інтенсифікувати технологічний процес сепарації. Процес сепарації покращується при куті нахилу отворів решета $\beta = 45^\circ$, частота коливань решета $\eta = 110 \text{ хв}^{-1}$ амплітуда коливань решета $A = 0,09 \text{ м}$, кут поперечного нахилу решета $1,5^\circ \dots 2,5^\circ$. На цьому режимі роботи очищення зернової суміші проводиться якісно відповідно до агротехнічних вимог.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень продуктивності підсівного решета з довгастими отворами, розташованими під кутом, що здійснює кругові рухи має розбіжність не більше 5%. Розрахунковий річний економічний ефект від застосування розробленого решітного стану.

Список джерел посилання

1. Мельник Л.Л. Проблемні питання щодо напрямів використання зерна в Україні/ Л.Л.Мельник, С.В.Васильєв, В.О.Олексюк// Агросвіт. - 2015. - №22. - С. 11-17.

2. Padalka, V., Burlaka, O., Rozhko, I., Yatsenko, Y., & Chumak, M. (2023). Supply of tractors to business subjects in Poltava region. Problems and perspectives. Scientific Progress & Innovations, 26(3), 133–139. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.23>

3. Padalka, V., Burlaka, O., Kelemesh A., & Rozhko, I. (2024). Grain harvesting combiners' use in Poltava region. Analysis and forecasts. Scientific Progress & Innovations, 27(2), 164–169. <https://doi.org/10.31210/spi2024.27.02.28>

УДК 006:631.3:621

СЕРТИФІКАЦІЯ, СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА ЯКІСТЬ ПРОДУКЦІЇ В АГРОІНЖЕНЕРІЇ ТА МАШИНОБУДУВАННІ

*Опара Н.М., кандидат сільськогосподарських наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Метою сертифікації в агроінженерії є підтвердження відповідності продукції або послуг встановленим стандартам і нормам. Сертифікація проводиться через випробування і перевірки, які документально підтверджують, що товар відповідає усім вимогам.

Сертифікація в агроінженерії може бути як обов'язковою, так і добровільною, в залежності від вимог законодавства або ринкової ситуації.

Стандартизація формує основу, а сертифікація підтверджує дотримання встановлених норм.

Метою стандартизації в агроінженерії є розробка і впровадження, що визначають вимоги до безпеки, надійності, якості агроінженерної продукції (наприклад машин, обладнання, технологій).

Перевагами стандартизації в агроінженерії є наступні:

1. Забезпечення надійності продукції.
2. Полегшення адаптації і впровадження нових рішень.
3. Створення єдиних підходів і підвищення ефективності.
4. Формування основи для послідувочої сертифікації.

Якість в агроінженерії забезпечується шляхом стандартизації, яка встановлює єдині правила та норми і сертифікації, яка підтверджує відповідність продукції цим стандартам. Ці процеси гарантують відповідність агроінженерної продукції вимогам безпеки, санітарних норм і ринковим очікуванням.

Ведучи мову про зв'язок між стандартизацією і сертифікацією в агроінженерії треба відмітити, що стандартизація встановлює «правила гри» (норми і вимоги). А сертифікація слугує доказом того, що продукція їм відповідає.

Роль стандартизації і сертифікації в агроінженерії зводиться до наступного:

➤ Відповідність нормам.

Гарантує, що агроінженерні рішення відповідають санітарним нормам, нормам безпеки і іншим важливим показникам.

➤ Забезпечення якості.

Метрологія, стандартизація і сертифікація є ключовими інструментами для забезпечення якості продукції, послуг і робіт в агроінженерії.

З розширенням виробництва буде покращуватися і метрологічний контроль, так як точність застава безпеки і якості продукції та послуг.

Контроль якості при ремонті машин вимагає організації метрологічної служби підприємства, розробки засобів вимірювання, методик контролю. Таким чином, без спеціального цілеспрямованого метрологічного навчання підготувати кваліфікованого спеціаліста, як з інженерних, так і інших напрямів і спеціальностей неможливо.

Постійно змінюються вимоги, нормативні документи, засоби вимірювання і контролю, методики виконання вимірювання.

Закінчивши заклади вищої освіти за напрямом підготовки «агроінженерія» здобувачі вищої освіти отримують професійні компетенції: здатність проводити і оцінювати результати вимірювань, здатність організовувати контроль якості і керування технологічними процесами, здатність використовувати технічні засоби для вимірювання параметрів технологічних процесів і якості продукції, питання нормування точності деталей складальних одиниць.

Якість стандартизації і сертифікації в машинобудуванні – це взаємопов'язані процеси, що спрямовані на забезпечення високої якості, безпеки і конкурентоздатності продукції.

Стандартизація встановлює правила та норми що визначають вимоги до продукції і процесів, а сертифікація підтверджує – відповідність продукції цим стандартам, що допомагає гарантувати її якість, надійність та безпеку для споживачів.

Метою сертифікації в машинобудуванні є підтвердження відповідності продукції встановленим стандартам. Це дозволяє доказати безпечність і якість продукції для споживачів і реагуючих органів. Вона включає перевірку продукції на відповідність вимогам стандартів і видачу відповідного сертифікату. Це також може

включати сертифікацію систем керування якістю підприємства (наприклад, по ISO).

Метою стандартизації в машинобудуванні є встановлення єдиних правил, норм, характеристик для добровільного багатократного використання з метою в порядкування виробництва і підвищення його конкурентоздатності.

Розробка і застосування стандартів, таких як ДСТУ, і міжнародних стандартів ISO, встановлюють вимоги до продукції, процесів і систем керування.

Призначення стандартизації забезпечує однаковість в проектуванні і виробництві, що спрощує подальші процеси контролю і керування.

Стандартизація в машинобудуванні підвищує довіру споживачів, забезпечує дотримання нормативних вимог і покращує конкурентоздатність підприємств на ринку.

Міжнародна кооперація в галузі стандартизації здійснюється не тільки в світовому масштабі, але і на регіональних рівнях.

В основі погодженого проведення робіт з регіональної стандартизації в Європі лежить Римський договір, що був підписаний 25 березня 1952 року Бельгією, Германією, Італією, Люксембургом, Нідерландами, Францією. Цей договір присвячений створенню Європейського економічного співтовариства (ЄЕС) і Європейської комісії з атомної енергії (Євроатом).

Європейський комітет зі стандартизації, заснований в 1961 році, налічує понад 300 технічних комісій. Він опублікував більше 2400 стандартів, приймав участь у розробці 2167 Європейських стандартів і ряду інших документів.

Під якістю в машинобудуванні розуміють сукупність характеристик продукції, які дозволять їй успішно виконувати свої функції, задовольняючи при цьому потреби споживачів.

На якість впливають вибір матеріалів, міцність, надійність, проектування, а також ретельний контроль і постійне вдосконалення.

Питаннями, що стосуються стандартизації в галузі електротехніки і електроніки займається Міжнародна електротехнічна комісія (МЕК).

Враховуючи вищевикладене можна зробити висновки:

1. Висока якість підвищує безпеку обладнання і скорочує простой.
2. Надійні вироби знижують витрати на гарантійне обслуговування і покращує репутацію компаній.

3. Стандарти ISO 9001, і інші дозволяють систематизувати контроль і постійне покращення.
4. Інвестиції в автоматизацію вимірювань відразу окупаються за рахунок зниження браку.
5. Залучення персоналу до процесу контролю якості формує культуру удосконалення.

Машини та деталі, що створюються в галузі машинобудування, досить часто працюють в екстремальних умовах: вібрації, високі t° , навантаження.

Помилка в одному елементі може призвести до поломки всієї установки, що тягне за собою простої виробництва і потенційні фінансові втрати.

Тому компанії прагнуть до якості у машинобудуванні як до способу знизити ризики і забезпечити довгострокову конкурентоздатність. Порушення якості напряду ставлять під загрозу безпеку персоналу.

Список джерел посилання

1. Ромашко А. С., Шишкін В. М., Кравець О. М., Майданюк С.В., Слободянюк І. В. Оцінка відповідності продукції машинобудування та системи управління якістю. Курс лекцій. Частина 1 [Електронний ресурс]: навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра за технічними спеціальностями. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. 215 с.

2. Шевченко І.А., Васильченко Т.О., Власов А.О. Стандарти якості та сертифікація продукції: навчальний посібник для здобувачів ступеня вищої освіти ступеня магістра. Запоріжжя: ЗНУ, 2020. 136с.

3. Салухіна Н.Г., Язвінська О.М. Стандартизація та сертифікація товарів і послуг: підручник. Київ: Центр навч. літ., 2019. 426 с.

4. Олабоді О. В. Машинобудування, стандартизація та сертифікація обладнання [Електронний ресурс] Нац. ун-т харч. технол., Наук.-техн. б-ка; Київ, 2018. 13 с.



УДК 631.312:620.178.16:620.193:

ПРИЧИНИ ТА ХАРАКТЕР ПОШКОДЖЕНЬ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН У АБРАЗИВНОМУ ҐРУНТОВОМУ СЕРЕДОВИЩІ

*Боровик О. Ю., асистент,
Левченко Ю. В., кандидат технічних наук, доцент,
Боровик В. Ю., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Робочі органи ґрунтообробних машин працюють у складних умовах, де поєднуються інтенсивні механічні та абразивні впливи. Постійний контакт із ґрунтом, мінеральними включеннями та сторонніми твердими об'єктами (камінням, замерзлими грудками, важкими фракціями) призводить до швидкого зношування й утворення різних типів поверхневих пошкоджень.

Тому необхідно детально вивчити основні механізми руйнування та встановити ключові фактори, які визначають довговічність цих деталей. Це дозволить обґрунтувати вибір оптимальних методів зміцнення й підвищити надійність техніки.

Встановлено, що одним з ключових чинників пошкодження є абразивна дія ґрунту, яка проявляється у вигляді мікрорізання, дряпання та вибивання частинок металу. Абразивність ґрунту визначається його складом: найбільше зношення виникає там, де багато твердих мінералів — кварцу, польового шпату тощо. Оскільки ці частинки значно твердіші за сталь робочих органів, вони швидко шкодять поверхні, що призводить до поступової втрати маси і зміни форми деталі.

Окрім абразивного впливу, значну роль відіграють ударні навантаження. Вони зазвичай виникають при зустрічі робочого органу з перешкодами, такими як камінь, щільні грудки ґрунту або коріння. Такі навантаження спричиняють локальні пластичні деформації, утворення мікротріщин, сколів та викришування зміцненого шару. Якщо машина працює на підвищених швидкостях або у важких ґрунтах, інтенсивність ударного навантаження зростає в декілька разів.

Не менш важливим фактором є також режим роботи машини. Зі збільшенням швидкості руху підвищується енергія ударів та частота контакту з абразивними частинками. Глибина обробітку впливає на

контактну площу та силу тиску, що прямо корелює зі швидкістю зношення. Невідповідність режимів роботи типу ґрунту часто сприяє передчасному руйнуванню робочих органів.

Дослідження показали що сукупність зазначених чинників формує характерні типи пошкоджень: абразивне стирання, мікрорізання, пластичні вм'ятини, мікротріщини, локальні сколи та відшарування поверхні. Пошкодження мають накопичуваний характер, тому на ранніх етапах проявляються у вигляді тонких борозен, а при подальшій роботі призводять до значного руйнування робочої кромки, збільшення енергоспоживання машини та погіршення агротехнічного ефекту.

Отже, аналіз основних причин і типів пошкоджень робочих органів дозволив нам визначити найбільш зношувані місця і які вимоги потрібно висувати до зміцнювальних покриттів. Розуміння механізмів руйнування допомагає правильно підібрати технології підвищення зносостійкості. Серед них особливе значення мають металокерамічні покриття, адже вони поєднують високу твердість, міцність і тривалу роботу деталей у складних умовах.

Список джерел посилання

1. Денисенко, М. І. Відновлення та зміцнення деталей і робочих органів сільськогосподарських машин, працюючих в абразивному середовищі / М. І. Денисенко // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб. – Кропивницький : ЦНТУ, 2023. – Вип. 53. – С. 271-284. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/14688>

2. Борак К. В. Комплексний підхід підвищення довговічності та зносостійкості робочих органів ґрунтообробних машин : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня доктора техн. наук : спеціальність 05.05.11 «Машини і засоби механізації сільськогосподарського виробництва» / К. В. Борак. – К., 2021. – 53 с. <http://repozitory.zhatk.zt.ua/handle/123456789/307>

3. Введення в технічний сервіс машин: методи усунення несправностей машин та обладнання : метод. вказ. до виконання практ. робіт для здобувачів денної та заочної форм навчання : Н7 Агроінженерія (208 «Агроінженерія»), ОПП «Технічний сервіс в АПК» / [уклад. : М. І. Черновол, І. В. Шепеленко, І. М. Рибалко [та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральнoукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький: ЦНТУ, 2024. - 95 с.

<https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/15889>

4. К. В. Борак, «Уплив коефіцієнта форми абразивних частинок ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів ґрунтообробних машин», НаукПраці ВНТУ, вип. 1, Квіт 2020.
<https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-1-46-56>
УДК 631.362:621.928:532

ПОБУДОВА ТА ВАЛІДАЦІЯ АНАЛІТИЧНОЇ МОДЕЛІ СЕПАРАЦІЇ ЗЕРНОВИХ СУМІШЕЙ У ПНЕВМО– СЕПАРАТОРАХ ІЗ КЕРОВАНОЮ СТРУКТУРОЮ ПОВІТРЯНОГО ПОТОКУ

*Харченко С. О., доктор технічних наук, доцент,
Біловод О. І., кандидат технічних наук, доцент,
Литвиненко В. В., здобувачка вищої освіти третього рівня (PhD),
Ромашко Р. Л., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Вовк В. О., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Підвищення ефективності процесів післязбиральної обробки зернових культур є ключовим технологічним завданням сучасного аграрного сектору, оскільки від якості насіннєвого та продовольчого матеріалу безпосередньо залежить реалізація генетичного потенціалу культур та рівень продовольчої безпеки. На значній частині вітчизняних підприємств зерноочисне обладнання залишається технічно і морально застарілим, що призводить до втрат кондиційної фракції, надмірних енерговитрат, нестабільної роботи аспіраційних систем та низької якості калібрування. У цьому контексті пневмосепаратори, принцип дії яких базується на різниці аеродинамічних властивостей компонентів зернової суміші, є одним із найбільш перспективних напрямів модернізації зерноочисних ліній.

Ефективність пневмосепарації значною мірою залежить від структури повітряного потоку в робочому каналі. Нерівномірність швидкісного профілю, наявність вихрових зон, тангенціальних компонентів швидкості та локальних прискорень часто стають причиною недорозділення важковідокремлюваних фракцій, збільшення втрат та погіршення стабільності технологічного процесу. Одним із дієвих способів керування структурою потоку є використання

жалюзійних вирівнюючих решіток, які здатні демпфувати вторинні течії, зменшувати радіальні та тангенціальні градієнти та наближати профіль швидкості до квазіплоского.

Виконано комплексне аналітичне моделювання руху несучої (повітряної) та дисперсної (зернова суміш) фаз у робочій зоні пневмосепаратора. Дослідження охоплює взаємодію геометричних параметрів каналу, характеристик вентилятора, конструкції жалюзійної вирівнюючої решітки та фізико-механічних властивостей компонентів зернового матеріалу. Запропонована модель базується на поєднанні рівнянь руху дисперсних частинок у повітряному потоці зі залежностями для середньої та локальної швидкостей несучої фази.

У роботі виконано аналітичний опис об'ємної витрати повітряного потоку, сформованого осьовим вентилятором із частотою обертання 1400 об/хв та діаметром робочого колеса 500 мм, що забезпечує витрату 2,3 м³/с. Для реальної ширини каналу (0,39 м) і ефективної висоти (0,90 м) визначено середню швидкість повітряного потоку, що склала 6,55 м/с, що повністю відповідає рекомендованим діапазонам для сепарації зернових матеріалів (6–8 м/с). Для оцінювання нерівномірності профілю введено коефіцієнт, який до встановлення жалюзійної решітки становить 0,40. Застосування вирівнюючої жалюзійної решітки з коефіцієнтом вирівнювання 0,7 дозволяє знизити нерівномірність приблизно до 0,28, тобто на 30 %, що підтверджує ефективність впливу геометрії жалюзі на форму швидкісного профілю.

Для моделювання руху частинок використано систему диференціальних рівнянь з урахуванням сил тяжіння та аеродинамічного опору, що описується квадратичним законом. На основі перевірених даних щодо густини, еквівалентного діаметра та коефіцієнтів аеродинамічного опору компонентів суміші (зерно озимої пшениці та легкі домішки соломи) обчислено термінальні швидкості: для пшениці – 8,6 м/с, для домішок – 3,9 м/с. Підставлення цих значень у рівняння дозволило визначити складові швидкості частинок у повітряному потоці. Так, вертикальна складова швидкості зернини становить приблизно –2,05 м/с (рух донизу), тоді як легка домішка рухається з вертикальною швидкістю +2,63 м/с (рух угору). Різностямованість складових швидкості створює чітко виражену зону ефективного поділу, а чисельна різниця швидкостей (понад 4,6 м/с) є достатньою умовою для гарантованої розбіжності траєкторій частинок у каналі.

Також отримано залежність повноти поділу від безрозмірної швидкості повітряного потоку. Встановлено, що максимальна ефективність (93–95 %) досягається при безрозмірній швидкості $\Phi_1 \approx 0,84$. Відхилення робочої швидкості потоку на ± 20 % призводить до зменшення повноти поділу до 70–80 %, що свідчить про високу чутливість процесу до режимних параметрів і важливість точного керування структурою повітряного потоку.

Практична цінність отриманих результатів полягає у можливості використання запропонованої методики для аналітичного проєктування високоефективних пневмосепараторів, зокрема вибору геометрії та кута встановлення жалюзійної решітки, оптимізації витрат повітря, прогнозування зони ефективного поділу та зменшення втрат основної фракції. Аналітичні залежності можуть бути інтегровані як у автономні моделі, так і в CFD-симуляції та алгоритми кешування параметрів для адаптивних та енергозберігаючих повітряних сепараційних систем.

УДК 631.363.6

ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ АКТИВНОГО ШАРУ ЗЕРНОВОГО ПОТОКУ ТА ЙОГО ВПЛИВ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ВИВАНТАЖЕННЯ

*Скоряк Ю. Б., старша викладачка,
Гак В. М., завідувач лабораторії,
Скоряк С. А., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

У бункерах для зберігання зерна під час розвантаження застосовуються пружинні транспортери у кожухах, а також без кожухів. Для зменшення потужності приводу над пружиною можуть встановлюватись стабілізуючі пластини або розсікачі на різній висоті від пружини.

Зерно самопливом надходить у міжвитковий простір пружини, що обертається, і переміщується в осьовому напрямку до вивантажного отвору. Швидкість руху шарів зерна не однакова, і в наслідок руху зернового потоку утворюється активний шар, причиною якого є сила внутрішнього тертя.

Розглянемо перший випадок (рисунок 1). Пружина зовнішнього радіуса обертається з кутовою швидкістю ω в циліндричному кожусі, внутрішній радіус якого дорівнює r_2 , у разі транспортування без кожуха радіус r_2 визначає межу активного шару, створюваного захопленим зерном з допомогою внутрішнього тертя [1].

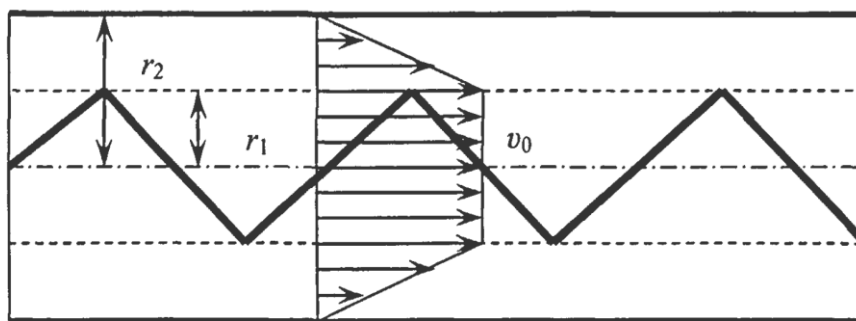


Рисунок 1 – Схема руху зерна у пружинному транспортері

Зерновий потік на ділянці «0 – r_2 » рухається із середньою швидкістю v_0 , яка залежить від кутової швидкості обертання гвинтової пружини ω .

На ділянці « $r_1 - r_2$ » розподіл швидкостей залежно від радіуса, запишемо у вигляді:

$$v = v_0(r - r_2)/(r_1 - r_2). \quad (1)$$

Застосуємо отриманий закон розподілу швидкостей до розрахунку витрати. Для цього висловимо спочатку елементарну витрату через нескінченно малий майданчик dS :

$$dW = v dS. \quad (2)$$

Тут є функція радіусу, яка визначається формулою (2), а майданчик dS візьмемо у вигляді кільця радіусу r і шириною dr , тоді після інтегрування по всій площі поперечного перерізу від 0 до r_2 маємо:

$$W = 2\pi \int_0^{r_2} v(r) r dr = 2\pi v_0 \left(\int_0^{r_1} r dr + \frac{1}{r_1 - r_2} \int_{r_1}^{r_2} (r - r_2) r dr \right). \quad (3)$$

Обчислюючи інтеграл, отримаємо:

$$W = \pi v_0 (r_2^2 + r_2 r_1 + r_1^2) / 3, \quad (4)$$

де $v_0 = S_n / 60$ – осьова швидкість гвинтової поверхні пружини;

S – крок гвинтової лінії;

n – частота обертання пружини.

Для руху зерна в трубі або кожусі з внутрішнім радіусом, наприклад, $r_2 = 2,5$ см, при обертанні пружини із зовнішнім радіусом $r_1 = 2,0$ см, витрата, обчислена за формулою (4), дорівнює $W_1 = 1,6v_0$.

У разі руху зерна без кожуха активний шар дорівнює $r_2 - r_1 = 2,0$ см, витрата, що визначається за формулою (4) при $r_2 = 4$ см, дорівнює $W_2 = 2,9v_0$. Порівняно з витратою (продуктивністю) у кожусі та без кожуха, маємо: $W_2 / W_1 = 1,8$.

Розглянемо випадок розподілу швидкостей у поперечному перерізі ринви (каналу), згідно з рисунку 2, що зазвичай відбувається при порівняно невеликих частотах обертання пружини ($n < 700 \text{ хх}^{-1}$).

На ділянці «0 – r_1 » рівняння прямої CD швидкість зміниться за радіусом:

$$v_{CD} = v_0[r(1-k)/r_1 + k].$$

На ділянці « $r_1 - r_2$ » швидкість $v = v_0 \text{ const}$.

На ділянці « $r_2 - r_3$ », відповідно, швидкість зміни за радіусом знаходиться за формулою:

$$v_{AB} = v_0[(r - r_3)/(r_2 - r_3)].$$

Витрата W (продуктивність) знайдеться після інтегрування по всіх трьох ділянках:

$$W = 2\pi \int_0^{r_3} v(r)rdr = 2\pi v_0 \left(\frac{1-k}{r_1} \int_0^{r_1} r^2 dr + k \int_0^{r_1} r dr + \int_{r_1}^{r_2} r dr + \frac{1}{r_2 - r_3} \int_{r_2}^{r_3} (r - r_3)r dr \right).$$

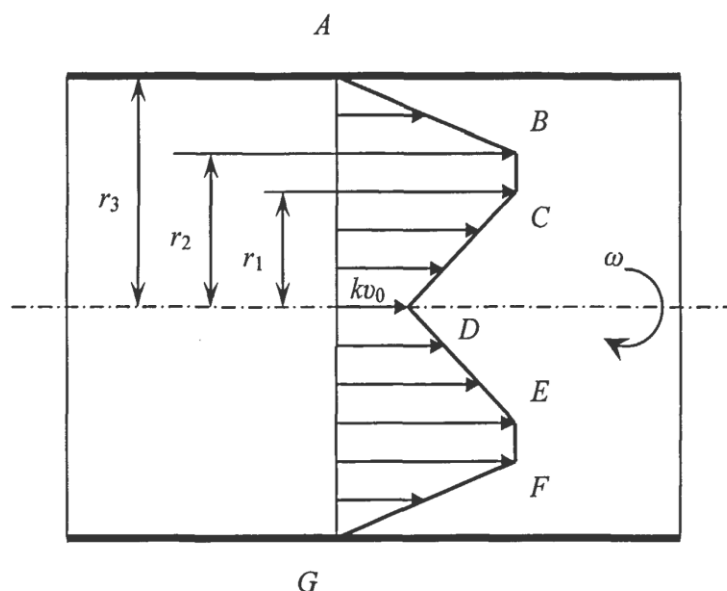


Рисунок 2 – Розподіл швидкостей руху зерна в пружинному бункері транспортером

Інтегруючи, отримаємо:

$$W = \pi v_0 [r_3^2 + r_3 r_2 + r_2^2 - (1 - k) r_1^2] / 3. \quad (5)$$

Наприклад, при діаметрі дроту пружини $\delta = 2 - 1,6 = 0,4$ см, маємо: $r_1 = 1,6$ см; $r_2 = 2$ см; $r_3 = 2,5$ см; $\kappa = 0,5$; $W_1 = 14,6 v_0$.

При $r_1 = 1,6$ см; $r_2 = 2$ см; $r_3 = 4,0$ см; $\kappa = 0,5$; $W_1 = 27,9 v_0$; $W_2 / W_1 = 1,9$.

При $\kappa = 0$, відповідно, маємо: $W_2 / W_1 = 2,0$.

Таким чином, продуктивність пружинно-гвинтового пристрою для транспортування при вивантаженні зерна з бункера без кожуха в порівнянні з бункером з кожухом збільшується за рахунок активного шару майже в 2 рази при одних і тих же параметрах пружини та кутових швидкостях її обертання.

Список джерел посилання

1. Способи транспортування зерна на елеваторах. URL: <https://mysilo.com.ua/mediatsentr/novyny/209-sposoby-transportuvannia-zerna-na-elevatorakh.html> (дата звернення 27.10.2025).
2. Pylypaka S., Klendii M. Transportation of a material particle by the operating mechanism of an agricultural machine in the form of a vertical screw confined by a coaxial stationary cylinder. *Machinery & Energetics*. 2022. Vol. 13, No. 3. P. 73-80.

УДК 621.91

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ ЗНОСУ РІЖУЧОГО ІНСТРУМЕНТУ

*Войновський В. В., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

У процесі механічної обробки температура в зонах контакту інструменту зі стружкою та заготовкою має значний вплив на інтенсивність зносу ріжучого інструменту. Тепловий фактор також є одним з головних чинників, що визначають основний вид зносу інструменту [1]. У процесі різання, на думку деяких дослідників, має перевагу механізм адгезійно-втомного руйнування [2].

Під час експлуатації твердосплавного інструменту, особливо при високій температурі різання в межах 900...950°C, виникає інтенсивний знос, що обумовлений адгезією і втомою матеріалу [3]. При температурі вище 900...950°C переважає дифузійний знос.

Відомі залежності для оцінки характеристик тертя і зносу у

процесі різанні наведені в роботі [4]. Однак, розрахунок за даними залежностями здійснювати складно, оскільки вони включають ряд параметрів, для визначення яких необхідні експериментальні дослідження.

Розмірний знос різця U визначається за наступною залежністю [5]:

$$U = \frac{U_0 \cdot L}{1000}, \quad (1)$$

де U – розмірний знос ріжучого інструменту, мкм; U_0 – відносний знос, мкм/км; L – шлях різання, м:

$$L = \frac{\pi \cdot D \cdot l}{1000 \cdot S_0}, \quad (2)$$

Розмірний знос різця U пов'язаний із зносом по задній поверхні і визначається за формулою:

$$U = h_3 \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (3)$$

Залежність (1) для розрахунку розмірного зносу U справедлива лише для ділянки нормального зносу ріжучого інструменту. Для визначення зносу нового робочого інструменту необхідно враховувати підвищення інтенсивності зносу в період припрацювання інструменту.

Формула для розрахунку U , що враховує початковий знос, має наступний вигляд [5]:

$$U = \frac{U_0 \cdot (L + L_d)}{1000}, \quad (4)$$

де L_d – додатковий шлях різання, м.

Для ріжучих пластин із зносостійкими покриттями необхідно визначити коефіцієнти, що показують їх вплив на коефіцієнти тертя і знос, у порівнянні з твердосплавною основою. За результатами досліджень [6] стійкість ріжучого інструменту із TiN покриттям у 2 рази вища, ніж у інструменту без покриття. При точінні конструкційної вуглецевої сталі різцем із покриттям коефіцієнти тертя на контактних площадках знижуються в порівнянні із різцем без покриття: на передній поверхні на 5...14%, а на задній поверхні – на 20...43%. При обробці вуглецевих конструкційних сталей інструментом з покриттям $TiAlN$ стійкість збільшується в 2 рази в порівнянні з інструментом із покриттям TiN , корозійно-стійких сталей – в 1,58...1,75 разів.

Список джерел посилання

1. Mohanta D.K., Sahoo B., Mohanty A.M. Experimental analysis for optimization of process parameters in machining using coated tools. *Journal of Engineering and Applied Science*, 2024. Vol. 71 (38).

<https://doi.org/10.1186/s44147-024-00370-5>.

2. Chabbi A., Yallese M., Nouioua M., Meddour I., Mabrouki T., Girardin F. Modeling and optimization of turning process parameters during the cutting of polymer (POM C) based on RSM, ANN, and DF methods. *Int J Adv Manuf Technol*, 2017. Vol. 91. pp. 2267–2290. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9858-8>.

3. Varghese L., Aravind S., Shunmugesh K. Multi-Objective Optimization of Machining Parameters during Dry Turning of 11SMn30 Free Cutting Steel Using Grey Relational Analysis. *Materials Today: Proceedings*, 2017. Vol. 4. Issue 2. Part B. Pp. 4196–4203. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.02.122>.

4. Meddour I., Yallese M.A., Bensouilah H., Khellaf A., Elbah M. Prediction of surface roughness and cutting forces using RSM, ANN, and NSGA-II in finish turning of AISI 4140 hardened steel with mixed ceramic tool. *Int J Adv Manuf Technol*, 2018. Vol. 97, pp. 1931–1949. <https://doi.org/10.1007/s00170-018-2026-6>.

5. Alajmi M.S., Almeshal A.M. Modeling of Cutting Force in the Turning of AISI 4340 Using Gaussian Process Regression Algorithm. *Appl. Sci.*, 2021. Vol. 11 (9). 4055. <https://doi.org/10.3390/app11094055>.

6. Mia M., Khan M.A., Dhar N.R. Study of surface roughness and cutting forces using ANN, RSM, and ANOVA in turning of Ti-6Al-4V under cryogenic jets applied at flank and rake faces of coated WC tool. *Int J Adv Manuf Technol*, 2017. Vol. 93. Pp. 975–991. <https://doi.org/10.1007/s00170-017-0566-9>.

УДК 621.91

ШЛЯХИ РОЗРОБКИ ВИСОКОЕФЕКТИВНИХ ЗНОСОСТІЙКИХ ПОКРИТТІВ СПІРАЛЬНИХ СВЕРДЕЛ

*Грабовець О. М., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Нанесення на робочі поверхні інструменту зносостійких твердих покриттів є ефективним способом підвищення працездатності інструменту. З урахуванням специфіки протікання процесів формування зміцнюючих покриттів існуючі методи можна розділити на три основні групи: хіміко-термічні методи утворення покриття (ХТМ); методи хімічного осідання покриття (ХОП); методи фізичного

осідання покриття (ФОП) [1].

До першої групи відносяться методи, де формування покриття здійснюється переважно за рахунок дифузійних реакцій між насичуючими елементами та інструментальним матеріалом. До другої групи відносяться методи, де покриття утворюються в результаті хімічних реакцій, що протікають між компонентами покриття на поверхні інструментального матеріалу. В третій групі об'єднуються методи, де покриття утримується на поверхні інструментальної основи в основному за рахунок механічного зв'язку.

Нанесення покриттів методом ХОП дозволяє підвищити стійкість твердосплавного ріжучого інструменту в 3...5 разів [2]. Рекомендовані області застосування покриття, що наноситься методами ХОП – це чистова і напівчистова обробка заготовок зі сталей і чавунів при високих швидкостях з малими і помірними подачами. Методами ХОП наносять покриття тільки на змінні пластини і монолітний ріжучий інструмент з вольфрамових твердих сплавів [3].

Можливість широкого варіювання температурою в зонах нанесення покриття дозволяє використовувати методи ФОП як універсальні методи для нанесення покриття на ріжучий інструмент з твердих сплавів і швидкорізальної сталі. Ці методи є універсальними і з точки зору можливості отримання широкої гами одношарових, багатошарових і композиційних покриттів на основі нігريدних, карбідних, карбоішридних, оксидних, боридних сполук тугоплавких металів IV – VI груп періодичної системи. Застосування методів ФОП значно розширює технологічні можливості ріжучого інструменту з покриттям за рахунок більш ефективного, ніж для методів ХОП, управління процесами отримання покриття і їх властивостями, а також спрямованого впливу на геометричні, кристалохімічні та фізико-механічні дефекти поверхневих шарів інструментального матеріалу [4].

Нині більшого застосування знаходять багатошарові покриття. Найбільшою ефективністю володіють зносостійкі покриття загальною товщиною 8 мкм. При цьому в залежності від виду обробки ефективність багатошарових покриттів різної конструкції не однакова [5]: на режимі попередньої обробки ($v = 160$ м/хв, $S = 0,3$ мм/об) найменшу інтенсивність зношування ріжучого інструменту забезпечують покриття з товщиною верхнього шару, що становить 35...60 % від загальної товщини покриття, а на режимі остаточної обробки ($v = 200$ м/хв, $S = 0,1$ мм/об) – 50...80 %. При цьому

інтенсивність зношування інструменту з багатошаровим покриттям і верхнім шаром з $TiZrN$ в 1,5...2 разів менше інтенсивності зношування покриттів з верхнім шаром з $TiCN$. Наявність у тришаровому багатошаровому покритті додаткових меж між шарами збільшує час до утворення тріщин на 6,5...18 % порівняно з двошаровим покриттям $TiN - TiZrN$ в залежності від режиму обробки.

У роботі [6] досліджувалася ефективність нанесення тонких зносостійких вакуумних іонно-плазмових покриттів TiN на робочу частину спіральних свердел зі сталі Р6М5. За результатами досліджень побудовано графік зношування (рисунок), з аналізу якого видно, що при однаковій величині зносу на рівні 1,1 мм стійкість свердел з покриттями становить 84 хв, що в порівнянні зі свердлами без покриттів (48 хв) в 1,75 рази більше.

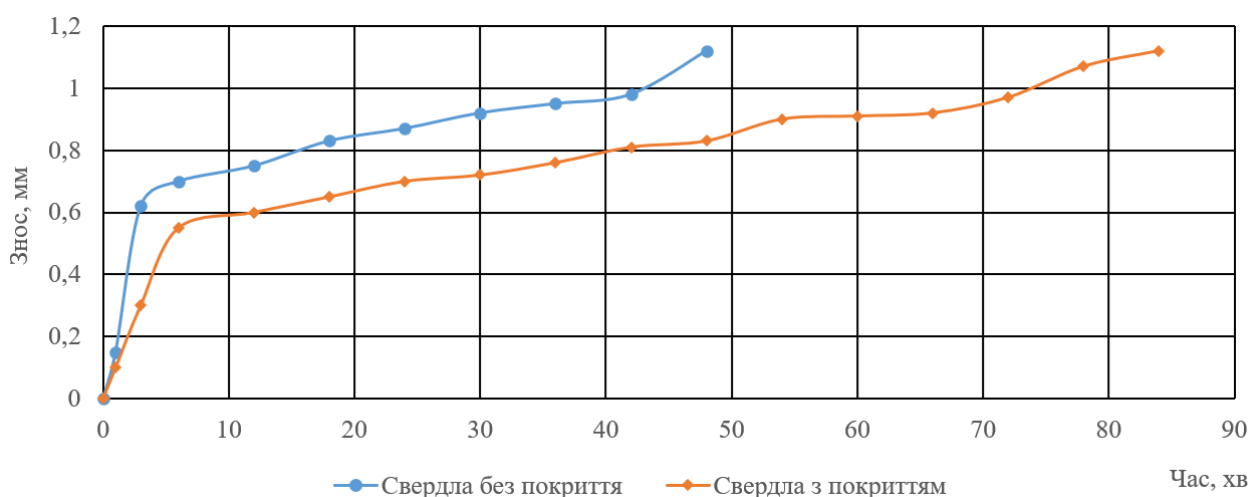


Рисунок – Середнє зношування свердел в залежності від тривалості свердління

При цьому необхідно відзначити, що свердла з покриттями при такій величині зношування ще зберігають свою працездатність на відміну від свердел із заводським заточуванням, які при величині зношування більше 1,0 мм втрачають працездатність. Збереження працездатності свердел з покриттями пояснюється більш рівномірним зносом по довжині ріжучої кромки на відміну від свердел без покриттів, оскільки порушуються геометричні параметри ріжучої частини свердел за рахунок сильного зносу периферійних ділянок ріжучих кромки.

Список джерел посилання

1. Yaqoob S., Ghani J. A., Jouini N., Juri A. Z. Performance Evaluation of PVD and CVD Multilayer-Coated Tools in Machining High-Strength Steel. *Coatings*, 2024. Vol. 14(7). pp. 865. DOI: <https://doi.org/10.3390/coatings14070865>.
2. Li H., Gao F., Li Y., Bai L. Experimental Study on Titanium Coating Carbide Drill Cutting Nickel-Base Superalloy. *Metals*, 2022. Vol. 12(12). pp. 2136. DOI: <https://doi.org/10.3390/met12122136>.
3. Kupczyk M. J., Józwick J. Effect of Laser Heating on the Life of Cutting Tools Coated with Single- and Multilayer Coatings Containing a TiN Layer. *Materials*, 2022. Vol. 15(11). pp. 4022. DOI: <https://doi.org/10.3390/ma15114022>.
4. Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2017. Vol. 18. pp. 1–9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirpj.2016.11.004>.
5. Arulkirubakaran D., Senthilkumar V. Performance of TiN and TiAlN coated micro-grooved tools during machining of Ti-6Al-4V alloy. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2017. Vol. 62. P. A. pp. 47-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2016.10.014>.
6. Lim C.Y.H., Lim S.C., Lee K.S. The performance of TiN-coated high speed steel tool inserts in turning. *Tribology International*, 1999. Vol. 32 (7). pp. 393–398. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0301-679X\(99\)00066-3](https://doi.org/10.1016/S0301-679X(99)00066-3).

УДК 631.316.022.2

ДО ПИТАННЯ ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ КУЛЬТИВАТОРНОЇ ГРУНТООБРОБНОЇ ЛАПИ

*Біловод В. В., здобувачка вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Гузь В. Ю., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Ковбаса В. П., доктор технічних наук, професор,
Полтавський державний аграрний університет*

Механічний обробіток ґрунту є одним з найбільш енергомістких процесів у технології сільськогосподарського виробництва. Дослідженню процесів взаємодії робочих органів з ґрунтом присвячено значну кількість наукових праць, але й до цього часу не

існує адекватного описання взаємодії поверхні ґрунтообробних робочих органів пасивної дії різної кривизни з ґрунтом.

Ступінь якості виконання процесу та його енергомісткість залежить від параметру та режиму роботи ґрунтообробної машини, а саме робочих органів. Параметри, що впливають на якість виконання операції та енергетику слід визначити геометричну форму та налаштування ґрунтообробних органів. Потрібно відзначити, що при взаємодії робочих органів з ґрунтом роль поверхні, по якій переміщується ґрунт після його відокремлення від масиву відбувається руйнуванні його суцільності. Цей процес може бути формалізований як транспортування пластичного середовища по поверхні певної геометричної форми. Тому основною гіпотезою може бути те, що для забезпечення необхідного руйнування суцільності ґрунту та його переміщення при мінімальній енерговитраті необхідно забезпечити рух по поверхні певної геометричної форми (кривини шляху руху ґрунту) методом варіаційного числення. При цьому необхідно забезпечити певний нахил ліній ковзання у ґрунті, що забезпечить умови руйнування суцільності при мінімальних енерговитратах.

Таким чином: форма поверхні культиваторної лапи впливає на енергомісткість процесу обробітку ґрунту, оскільки впливає на руйнування ґрунту на носку, яке в свою чергу залежить від кута атаки; впливає на енергію руху по поверхні частині лапи; впливає на сумарну силу тертя при русі ґрунту, впливає на енергію руйнування ґрунту в процесі його руху по поверхні.

Крім того, з технологічної точки зору форма поверхні культиваторної лапи суттєво впливає на якість кришення, структурування та перемішування оброблюваного ґрунту.

Оптимізація геометричної форми культиваторної лапи з адаптацією до конкретних ґрунтових умов здатна зменшити енергомісткість процесу на 20...35%, в залежності від типу ґрунту та глибини обробітку [1].

Для оптимізації геометричної форми поверхні культиваторної лапи необхідно розв'язати наступні задачі: визначити контактні напруження на поверхні лапи, для чого розв'язати контактну задачу взаємодії робочого органу з ґрунтом який має певні механічні властивості в залежності від його типу, фізичного стану ,а для розв'язання такої задачі формалізувати ґрунт як середовище з яким взаємодіє робочий орган та скласти математичну модель, що характеризує його напружений стан що залежить від властивостей

грунту та його здатності до деформацій. Це дозволить визначити сили, що діють з боку ґрунту на поверхню культиваторної лапи. Можна скласти функціонал роботи сил опору руху ґрунту по поверхні культиваторної лапи на всьому шляху їх взаємодії. Далі можна знайти функцію, що описує форму поверхні робочого органу, яка дає мінімум функціоналу, тобто розв'язати варіаційну задачу.

Цей розв'язок буде залежати від механічних властивостей ґрунту, які в свою чергу залежатимуть від типу ґрунту та його фізичного стану. На першому етапі досліджень необхідно формалізувати ґрунт, який чинить опір на культиваторну лапу та скласти його математичну модель, що враховуватиме механічні властивості та кінематику руху по ньому.

У більшості задач, зв'язаних з аналізом дії робочих органів з матеріалами та середовищами [2, 3], саме тоді настає необхідність застосування фізичних рівнянь зв'язку напружень з деформаціями. Цей зв'язок проявляється у вигляді впливу пружних, в'язких та пластичних властивостей. Формалізація матеріалів та середовищ у вигляді моделей з суттєвим проявом окремих видів цих властивостей існують фундаментальні закони та фізичні рівняння зв'язку напружень з деформаціями, але при складних видах впливу властивостей, коли проявляються всі три властивості у рівній мірі, моделі зв'язку напружень з деформаціями побудовані для часткових випадків.

Саме ці моделі побудовані для повних тензорів напружень та деформацій, їх застосування у повному вигляді не дозволяє розв'язати задачу про напружено-деформований стан середовища.

Ці поставлені задачі виникають при аналізі роботі органів машин з ґрунтом. У цьому випадку ґрунт формалізується як суцільне середовище з властивостями пружності, в'язкості та пластичності.

Правомірність такої формалізації та результати аналізу взаємодії робочих органів з ґрунтом ґрунтується на результатах досліджень Кушнар'ова А. С., Ковбаси В. П. та ін. [2, 4].

При суттєвому прояві пластичності для визначення умови пластичної течії ґрунту може бути використаний модифікований критерій переходу у пластичний стан (умова руйнування суцільності) Кулона-Мора [4]:

$$k = -\frac{3(\sigma \sin[\varphi] + \tau_0 \cos[\varphi])}{-3 + \sin[\varphi]},$$

де σ – середнє (гідростатичне) напруження;

φ – коефіцієнт внутрішнього тертя матеріалу (грунту);

τ_0 – напруження початкового зсуву матеріалу (грунту).

Таким чином, визначено основні цілі та задачі для розв'язання задачі оптимізації геометричної форми лапи культиватора до конкретних типів ґрунтів.

Список джерел посилання

1. Бабицкий Л. Ф., Москалевич В. Ю., Соболевский И. В. Бионико-механические основы сельскохозяйственных машин. Теория и методы: монография. Saarbrücken, Germania: Lambert Academic Publishing, 2016. 384 с.

2. Кушнарєв А. С. Механико-технологические основы процесса воздействия рабочих органов почвообрабатывающих машин и орудий на почву: Дис. докт.техн.наук: 05.20.01. Мелитополь, 1980. 329 с.

3. Bakker D., Harris H. The Measurement of Critical State Parameters for a Black Earth. Nat. Conf. Publ., Inst. Eng., Austral, 1992, N 92/11. P. 189-193.

4. Ковбаса В.П. Про визначення критерію вигляду напружено-деформованого стану суцільного середовища. Вісник ХДТУСГ «Підвищення надійності відновлюваних деталей машин». Харків. 2001. Вип. 8. Т.2. С.79-82.

УДК 629.113

МЕТОДИ ПРОЄКТУВАННЯ ФРИКЦІЙНИХ ГАЛЬМІВНИХ ПРИСТРОЇВ З УРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ

*Куча М. М., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Гальмівні пристрої є невід'ємною частиною систем активної безпеки транспортних засобів і технологічних машин. Відмови гальмівної системи становлять 36 % від усіх несправностей, що призводять до дорожньо-транспортних пригод [1]. Комплексна автоматизована система обліку та контролю усунення відмов у роботі технічних засобів зафіксувала 37 % відмов, що припадають на гальмівне обладнання рухомого складу, від загальної кількості несправностей. Частка несправностей, пов'язаних з гальмівною

системою, вказує на ризик небезпечної експлуатації транспортних і технологічних машин. Основою безпечної експлуатації є відповідність заявленим параметрам стабільних значень експлуатаційних характеристик фрикційних гальмівних пристроїв протягом усього життєвого циклу. Оцінка експлуатаційних параметрів гальмівних пристроїв повинна базуватися на сучасних методах розробки, що враховують взаємозалежні характеристики ефективності та енергоємності фрикційних вузлів і параметри тепловідвідних пристроїв гальм.

Процес гальмування супроводжується нестационарною взаємодією робочих поверхонь силових пристроїв, до яких можна віднести гальмівні пристрої. Наукові праці [2], присвячені нестационарним процесам взаємодії робочих поверхонь гальмівних пристроїв, в основному присвячені боротьбі лише з наслідком, а саме зі зростаючим контактним тиском і температурою, що формується на взаємодіючих контактних ділянках. Основними критеріями оцінки ефективності розробок є коефіцієнт тертя і лінійний знос, тоді як формування структури силового пристрою повинно бути спрямоване не тільки на підвищення основного вихідного параметра - гальмівного моменту, що характеризує силовий пристрій, але і на його стабілізацію в різних режимах взаємодії робочих поверхонь.

Проаналізовані літературні джерела [3, 4] показали, що розроблені методи проектування не враховують безлічі змінних факторів, що входять до сформованого гальмівного моменту. Особливо ефектно це можна побачити при використанні поліпритискних механізмів у фрикційних гальмівних пристроях з повітряним охолодженням. Використання поліпритискних механізмів в гальмівних пристроях призводить до зростання температур на робочих поверхнях, що висуває вимоги до проектування вузлів охолодження відповідно до формуються експлуатаційних параметрів гальма.

До того ж, методи розробки існуючих гальмівних пристроїв не враховують дослідження, що стосуються впливу різних дефектів на вихідні параметри силових пристроїв та зниження параметрів стабільності під час гальмування. Тому так необхідне врахування експлуатаційного експерименту при створенні нових методів розробки і розробки способів забезпечення стабільних параметрів гальмівних пристроїв, які повинні не тільки підвищувати безпеку машин, але і знижувати витрати на експлуатацію.

В даних умовах широкого використання силових пристроїв на машинах із підвищеною інтенсивністю руху створення методів розробки та оцінки ефективності гальмівних пристроїв і стабільності їх вихідних експлуатаційних параметрів є, безумовно, актуальним.

Список джерел посилання

1. Haq M. T., Ampadu V.-M. K., Ksaibati K. An investigation of brake failure related crashes and injury severity on mountainous roadways in Wyoming. *Journal of Safety Research*, 2023. Vol. 84. pp. 7–17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jsr.2022.10.003>.
2. Xiao X., Yin Y., Bao J., Lu L., Feng X. Review on the friction and wear of brake materials. *Advances in Mechanical Engineering*, 2016. Vol. 8(5). DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814016647300>.
3. Hu Гю, Wu Лю, Li Лю. Torque Characteristics Analysis of a Magnetorheological Brake with Double Brake Disc. *Actuators*, 2021. Vol. 10(2). pp. 23. DOI: <https://doi.org/10.3390/act10020023>.
4. Sohn J.W., Gang H.G., Choi S.-B. An experimental study on torque characteristics of magnetorheological brake with modified magnetic core shape. *Advances in Mechanical Engineering*, 2018. Vol. 10(1). DOI: <https://doi.org/10.1177/1687814017752222>.

УДК 631.316.022.4/631.316.022.2

ДО ПИТАННЯ ПРО АКТУАЛЬНІСТЬ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ПРУЖНОЇ ПІДВІСКИ КУЛЬТИВАТОРНОЇ ГРУНТООБРОБНОЇ ЛАПИ

Тарасенко Д. С., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD), старший викладач,
Біловод О. І., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет

Механічний обробіток ґрунту є одна з найважливіших ланок в усіх операція, спрямованих на покращення властивостей ґрунту та підвищення врожаю культур сільського господарства. Так як це один з найбільш енергоємних процесів у агровиробництві. Одним із варіантів зменшення енергомісткості обробітку ґрунту є застосування вібрації робочих органів під час операцій з ґрунтом. Досліди направлені на дослідження впливу вібрації робочих органів сільськогосподарських машин, на обробіток ґрунту, що проведені

різними дослідниками, встановлено, що використання вібрації може дозволити досягти значного (до 60%) зменшення тягового опору ґрунтообробних машин [1, 2, 3].

В своїх дослідженнях О.О. Дубровський дослідив залежність, яка описує найвищі результати від вібрацій робочого органу [4]. $A\omega/V \leq k$, де саме, A – це амплітуда, мм; ω – ϵ частота, 1/с; V – швидкість ґрунтообробної машини, м/с; k – коефіцієнт пропорційності.

У дослідженні машин, які було оснащене вібраційними робочими органами, довели варіант зниження тягового опору до 55-60%, але завдячуючи перерозподілу енергії між приводом від валу відбору потужності і тяговим зусиллям на гаку, вібрація в сумі не дає зменшення енергії. Оволодіння основами застосування ґрунтообробних машин з пружною підвіскою робочих органів приурочені праці Рябцева Г. О., Бабицького Л.Ф, Кушнарьова А.С. та ін. Саме ці вчені обґрунтували параметри пружних підвісок та встановили, що зміна робочого органу із жорсткою підвіскою на пружну гарантує зниження гребнеподібності структури на 15...25%, збільшується рівень рихлення ґрунту на 5...15%, відсоток залипання ґрунтом - зменшується на 30...50% та також зменшення їх притирання 20...30%. Впровадження підвісок з пружними елементами робочих органів зможе знизити тяговий опір агрегату, що значно збільшить робочу швидкість руху до 2 – 3 м/с без втрат якісної роботи та зменшити час на очистку агрегату від налипання ґрунту та зрізаних бур'янів. Водночас виникне варіант зношення робочих органів. Вивчення роботи машин, конструкція яких включає пружну підвіску робочих органів (або роль пружного елемента виконує стійка робочого органу), було проведено у Мелітопольському ІМЕСГ вченими П. П. Карпушою і Г. О. Рябцевим [4]. Процес взаємодії лапи на жорсткій та пружній підвісках з ґрунтом, вони описують таким чином. Під час роботи робочих органів машин на жорсткій підвісці, ґрунт періодично сколюється. Спочатку ґрунт стискається, при цьому опір переміщенню лапи збільшується до максимального значення, а після сколювання ґрунту – знижується до мінімального значення.

Таким чином взаємодія пружного або підпружиненого робочого органу виглядає наступним чином: накопичення напружень перед робочим органом – ґрунт чинить опір; досягається критична деформація – з'являються мікротріщини; зріз, зсув або розрив (руйнування); зниження опору – робочий орган начеб то провалюється

(в цей час вивільняється потенціальна енергія пружини або пружної стійки); початок нового циклу. Частота цих циклів залежить від форми, кута атаки, швидкості руху та властивостей ґрунту.

П. П. Карпуша і Г. А. Рябцев запропонували формулу для визначення відносного зменшення тягового опору пружної та жорсткої лап: $\delta = \Delta f / F$, $\Delta f = f - F$, де f – опір лапи на пружній підвісці; F – загальний опір для жорсткої лапи. Крім того А.С. Кушнар'ов довів ефективність використання вібрації для зниження тягового зусилля ґрунтообробної машини. На основі виконання порівняльного аналізу вітчизняних та закордонних робочих органів з пружною підвіскою, було встановлено, що пружна підвіска робочих органів дозволяє при правильному виборі її параметрів значно покращити енергетичні та агротехнічні показники якості роботи культиватора за рахунок коливань робочого органу.

Таким чином, щоб підпружинена стійка реально знизил роботу на ґрунтообробіток, необхідно забезпечити декілька умов: підібрати жорсткість пружини таким чином, щоб накопичення потенціальної енергії було достатнім для руйнування ґрунту, а її переміщення не було надзвичайно великим (в межах переміщень в утвореній зруйнованій зоні. Надлишкове демпфування може бути шкідливим внаслідок появи дисипативних втрат. Крім того жорсткість повинна бути узгоджена зі швидкістю переміщення робочого органу.

Список джерел посилання

1. A. Stastny, G. Medicus, V. Galavi , M. Tafili, F. Tschuchnigg Evaluation of advanced soil models for the cyclic soil-structure interaction of integral bridges// Acta Geotechnica (2025) 20:4385–4410 <https://doi.org/10.1007/s11440-025-02632-9>

2. Vidas Damanauskas Effect of tillage implement (spring tine cultivator, disc harrow), soil texture, forward speed, and tillage depth on fuel consumption and tillage quality// Wed, 06 Jul 2022 in Journal of Agricultural Engineering

3. Sergey Malyuko*, Leonid Bukhtoyarov, Mikhail Lysych, Evgeny Pozdnyakov, Mikhail Shavkov, Aleksandr Petkov , Igor Shanin Review of designs of cultivators for agricultural care of forest crops//E3S Web of Conf. Volume 389, 2023 Ural Environmental Science Forum “Sustainable Development of Industrial Region” (UESF-2023) DOI <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903016>

4. Дубровский А.А. О влиянии вынужденных колебаний на тяговое сопротивление рабочих органов почвообрабатывающих машин / А.А. Дубровский // Сб. трудов по земледельческой механике. М.: ВАСХНИЛ, 1956. Т. 3. С. 182–185.

УДК 631.3

РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧІ ПРИНЦИПИ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕСІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ

Ветохін В. І., доктор технічних наук, доцент,

Рижкова Т. Ю., старший викладач,

Ребенок О. А., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),

Заславець В. О., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),

Коренівський А. О., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),

Сидорчук Ю. В., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),

Полтавський державний аграрний університет,

Амосов В. В., кандидат. технічних наук, доцент,

Центральноукраїнський технічний університет

Удосконалення процесів у сільськогосподарському машинобудуванні спрямовано на підвищення ефективності та якості на етапах проектування, виробництва та експлуатації виробів машинобудування.

У зазначених етапах задіяні різноманітні ресурси, які на узагальнюючому рівні можливо звести до ресурсів людських, енергетичних, матеріальних та ресурсу часу. Управління ресурсами, можливо при системному підході на основі знань про взаємозв'язок властивостей та показників стану оброблюваного середовища [1-4].

Ресурсозберігаючі принципи мають бути закладені в конструкцію на етапі проектування машинобудівної продукції. Етапу проектування передуює етап наукового пошуку, тобто встановлення причинно-наслідкових зв'язків в системі «знаряддя-оброблюване середовище» [5-8].

Значний резерв зниження витрат ресурсів становить задіяння принципів саморегулювання і самоадаптації та їх реалізація в конструкції сільгоспзнарядь [9-12].

Деякі напрямки наукового пошуку енерго/ресурсозберігання, що можуть бути реалізовані на етапі проектування машинобудівної продукції, наступні :

- самоадаптація та саморегулювання робочого процесу;
- самозаточування робочих органів;
- самоочищення виконавчих механізмів;
- самовідновлення виконавчих механізмів;
- самокорегування форми виконавчого (робочого) органу.

Перерозподілення енергетичних потоків в машино-тракторних агрегатах, з урахуванням властивостей середовища, теоретично обґрунтований та практично реалізований засіб підвищення ефективності [13]. Один з прикладів сучасної реалізації – тягово-привідні агрегати для посіву та внесення добрив [14].

Проведені теоретичний аналіз та аналітичне дослідження відомих техніко-технологічних рішень дали змогу визначити основні напрямки розвитку енерго/ресурсозберігаючих технологій у сільсько-господарському машинобудуванні та машиновикористанні:

- використання ресурсозберігаючих принципів на етапі проектування машинобудівної продукції;
- використання інноваційних технологій та сучасних матеріалів у виробництві;
- зменшення споживання ресурсів впродовж життєвого циклу техніки;
- підвищення надійності та якості роботи сільськогосподарської техніки та ефективності робочого процесу.

Отже, зниження витрат ресурсів при виробництві та використанні продукції сільськогосподарського машинобудування можливо за рахунок зміни часток у загальному балансі ресурсів у системі «енергія-речовина-інформація-людина» в бік збільшення частки інформаційних ресурсів.

Список джерел посилання

1. Ветохін В.І., Алтибаєв А.Н. Аналіз властивостей ґрунту стосовно процесу управління його станом з мінімальними витратами ресурсів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2017. Вип. 21. С. 332-338. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2017_21_46

2. Ветохин В.И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової*

техніки і технологій для сільського господарства України. 2009, Вип. 13(27), Кн.2. С. 30-38.

3. Ветохін В. І. Деякі аспекти використання властивостей ґрунту при проектуванні ґрунтообробних процесів та знарядь. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія : Техніка та енергетика АПК. 2015. Вип. 226. С. 315-321. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_226_40

4. Vetokhin V.I. Analysis of ways to save energy using a rational formula for labor costs for soil cultivation. *Energy of the future: innovative scenarios and methods for their implementation* : materials of the World Congress of Engineers and Scientists (June 19-20, 2017, Astana, Kazakhstan). V.2, 2017. P. 173-176.

5. Ветохін В.І. Проектування глибокорозпушувачів з урахуванням деяких аспектів деформування ґрунту. *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2008. Вип. 20. С. 104-109.

6. Ветохин В.И. К теории почвообрабатывающего клина. *Конструирование, производство та експлуатація сільськогосподарських машин*. Випуск 41. Ч.1 2011. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/items/195fc8fd-712a-4cff-bcba-dd6cec7d8a98>.

7. Ветохин В.И. К вопросу систематизации пассивных рабочих органов для рыхления почвы на основе физики процесса. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2008. Вип.11(25). С. 113-122.

8. Ветохин В.И. Систематизация рабочих органов для рыхления почвы на основе физики процесса. *Техніка АПК*. 2008. № 9-10. С. 21-25.

9. Ветохін В.І. Фізичні аспекти прояву зворотного зв'язку та авторегулювання форми знаряддя в системі «знаряддя-ґрунт». *Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація*. 2009. Вип. 22. С.119-124. URL: <https://dspace.kntu.kr.ua/items/5c59fb38-60aa-45e4-b6d7-b1a3aee2d03f>

10. Ветохін В.І., Гетьман О.Г., Білицька Н.В. До питання формоутворення робочої поверхні з урахуванням явища обміна об'ємом між робочим органом і ґрунтом. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2011. Вип.4, Т.51. С. 87-94.

11. Ветохин В.І., Білицька Н.В., Гетьман О.Г. Стосовно механізму виникнення саморегулювання системи «джерело енергії - розпушувач – ґрунт». *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2012. Вип. 16(30). Кн.1. С. 230-237.

12. Ветохин В.И. О динамике формы поверхности рабочих органов почворыхлителей. *Тракторы и сельхозмашины*. 2010. № 6. С. 30-35. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/11013>

13. Ветохин В.И., Панов И.М., Шмонин В.А., Юзбашев В.А. Тягово-приводные комбинированные почвообрабатывающие машины: теория, расчет, результаты испытаний : монография. Киев : Феникс, 2009. 264 с. URL: <https://dspace.pdau.edu.ua/handle/123456789/15056>.

14. Ветохін В.І., Негребецький І. С., Рижкова Т.Ю., Сало Я.М., Вознюк Т.А. Аналітичний огляд технічних рішень голчастих ротаційних знарядь для внесення рідких добрив в шар ґрунту. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2021. Вип. 29(43). С. 95-107. URL: http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2021_v2_9.html
УДК 631.3

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ДОСЛІДЖЕННЯ РОТАЦІЙНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ЗНАРЯДЬ

*Рижкова Т. Ю., старший викладач,
Ветохін В. І., доктор технічних наук, доцент,
Негребецький І. С., старший викладач,
Заславець В. О., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Підвищення ефективності аграрного виробництва та якості продукції закладається на етапах проектування виробів сільськогосподарському машинобудування. На етапах проектування доцільно реалізувати механізми управління ресурсами, що можливо при системному підході, на основі знань про взаємозв'язок властивостей та показників стану оброблюваного середовища [1-3].

Один з засобів керування показниками стану оброблюваного середовища є механічний обробіток ґрунту. Для підвищення ефективності роботи ґрунтообробних сільськогосподарських знарядь в

польових умовах, слід насамперед розглядати фактори, що найбільш впливають на результат взаємодії робочих органів з ґрунтовим середовищем [4-6]. Вивчення процесів за допомогою дослідницького устаткування у вигляді ґрунтових каналів дозволяють виокремити найбільш впливові фактори та наблизитися до умов реального поля. При цьому є можливість відокремити мінливі зовнішні чинники, що впливають опосередковано на результати обробітку ґрунту. Слід відмітити, що сучасні ґрунтові канали оснащені засобами реєстрації та вимірювань з можливістю наближення до реальних умов [7].

Метою дослідження є вивчення особливостей роботи ротаційних знарядь з подальшим визначенням параметрів руху та їх впливу на ефективність технологічного процесу, та створення необхідного обладнання.

Дослідження механічного руху ротаційних робочих органів в умовах ґрунтових каналів різних типів показали, що вимірювання параметрів має комплексний підхід. А саме: вибір системи керування рухом знаряддя чи його моделі, доступність візуального спостереження за процесом руху робочого органу та його взаємодії з шаром ґрунту, засоби реєстрація кінематичних та динамічних параметрів з необхідною точністю [8].

Спроекований та виготовлений нами модульний ґрунтовий міні-канал дозволяє проводити комплексні дослідження механічного руху моделей робочих органів різних ротаційних сільськогосподарських знарядь (рисунок 1, 2) [8-10].

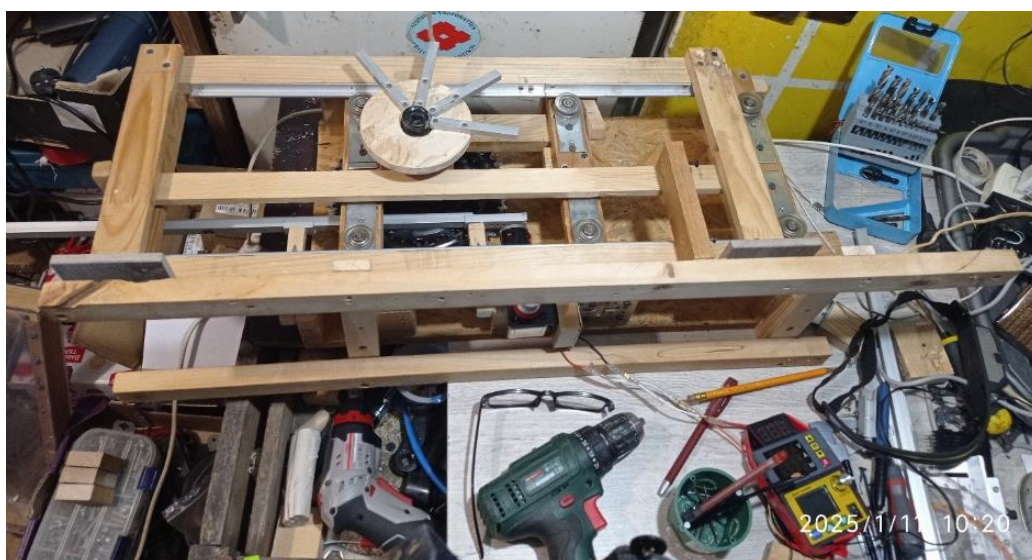
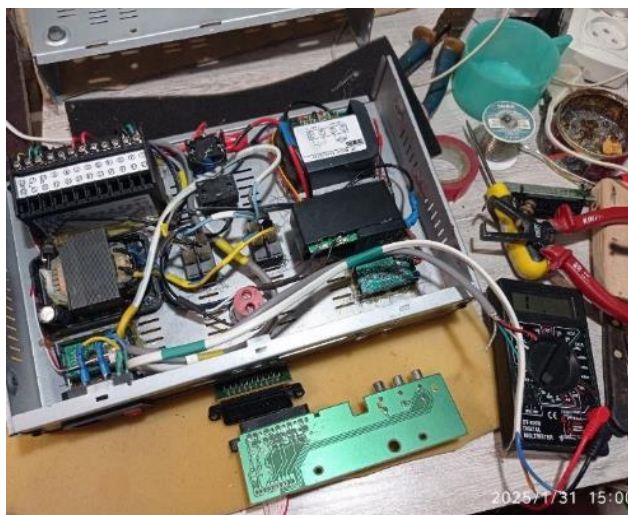


Рисунок 1 – Робочий момент виготовлення модульного ґрунтового міні-каналу



а)



б)

Рисунок 2 – Робочий момент налагодження пульта керування (а) та пишучих вузлів (б) модульного ґрунтового міні-каналу

Моделювання траєкторій механічного руху робочих органів, вивчення кінематичних параметрів у модульному ґрунтовому міні-каналі надає можливість, з меншими витратами, вивчити фізико-механічні особливості взаємодії з оброблюваним середовищем, визначити діючі фактори та їх вплив на ефективність технологічного процесу [9].

Порівняння одержаних результатів дослідження руху моделі робочого органу та реального знаряддя дозволяє уточнити математичну модель та окреслити рекомендації для вивчення експериментального макету сільськогосподарського знаряддя в умовах відкритого поля [11].

За результатами проведених теоретичних та експериментальних досліджень одержано наступні висновки:

- рух ротаційного робочого органу має складний поступально-обертальний характер, опис траєкторії руху голчастої частини робочого органу полягає у описі руху множин точок, з яких складається голка, візуальне спостереження та графічне представлення якої полегшується в спроектованому міні-ґрунтового каналі;

- зміна швидкості поступального руху знаряддя змінює швидкість обертання ротаційної частини робочого органу, що впливає на зміну кінематичного параметру, геометричні розміри утворених лунок та якість заглиблення голок в ґрунт, що експериментально підтверджується в умовах ґрунтового каналу;

- визначені фактори (швидкість руху, вологість та щільність ґрунту) впливають на якість обробітку ґрунту та ефективність внесення добрив.

Подальші дослідження вбачаються в уточненні аналітичної моделі механічного руху знаряддя, модернізації конструкції ротаційного голчастого знаряддя для підвищення ефективності обробітку ґрунту у захисній зоні рослин.

Список джерел посилання

1. Ветохін В.І., Алтибаєв А.Н. Аналіз властивостей ґрунту стосовно процесу управління його станом з мінімальними витратами ресурсів. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2017. Вип. 21. С. 332-338. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ttar_2017_21_46

2. Ветохин В.И. Систематизация свойств почвы как элемент теории проектирования почвообрабатывающих орудий и технологий. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2009. Вип. 13(27). Кн.2. С. 30-38.

3. Ветохін В. І. Деякі аспекти використання властивостей ґрунту при проектуванні ґрунтообробних процесів та знарядь. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія : Техніка та енергетика АПК*. 2015. Вип. 226. С. 315-321. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_tech_2015_226_40

4. Ветохін В.І., Негребецький І. С., Рижкова Т.Ю., Сало Я.М., Вознюк Т.А. Аналітичний огляд технічних рішень голчастих ротаційних знарядь для внесення рідких добрив в шар ґрунту. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2021. Вип. 29(43). С. 95-107. URL: http://www.ndipvt.com.ua/zbirnyk_2021_v2_9.html

5. Рижкова Т.Ю., Негребецький І.С., Ветохін В.І. Можливість застосування моделей різання ґрунту стосовно функціонування ротаційних голчастих ґрунтообробних знарядь. *Молодь і технічний прогрес в АПК. Інноваційні розробки в аграрній сфері : збірник матеріалів Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків : ХНТУСГ. Т.2. 2021. С.72-73.

6. Ветохін В.І., Рижкова Т.Ю. Стосовно аналізу діючих сил в системі голка-ґрунт при роботі інжекційного ротаційного голчастого

знаряддя. *Науково-технічні засади розроблення, випробування та прогнозування сільськогосподарської техніки і технологій* : збірник наукових доповідей XXII Міжнародної наукової конференції, 23 вересня 2022 року, УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого; Україна, Дослідницьке, 2022. С. 58-63. URL: http://www.ndipvt.com.ua/uploads/zbirnyk-tez_09-2022.pdf

7. Рижкова Т.Ю., Негребецький І.С., Ветохін В.І. Деякі особливості конструкції ґрунтових каналів для дослідження ротаційних знарядь. *Новітні технології в агроінженерії: проблеми та перспективи впровадження* : матеріали III Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 23 червня 2023 р. Полтава : ПДАУ, 2023. С.86-89 <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u349/zbirnik.pdf#page=86>

8. Vetokhin V., Popov S., Ryzhkova T., Negrebetskyi I., Leshchenko S., Amosov V., Machok Y., Petrenko D. Improving the soil bin for studying rotary tools taking into account the kinematic features of interaction with the soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2024. № 6(1(132)). PP. 31–40. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315127>

9. Лабораторна установка для вивчення ротаційних ґрунтообробних знарядь : пат. КМ 158216 Україна: G01P 13/00. Ветохін В.І., Попов С.В., Рижкова Т.Ю., Поличева Ю.В., Негребецький І.С., Загривий Р.А, Сидорчук Ю.В. № у 2024 02926. Заявл. 03.06.2024. опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836088/>

10. Установка для моделювання ротаційних робочих органів: пат. КМ 158228 Україна. G01M 7/00, G01P 13/00. Ветохін В.І., Попов С.В., Амосов В.В., Рижкова Т.Ю., Поличева Ю.В., Поличев А.М., Сидорчук Ю.В., Загривий Р.А. № у 2024 03223. заявл. 18.06.2024; опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2. URL: <https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1836115/>

11. Рижкова Т.Ю., Негребецький І.С., Ветохін В.І. Деякі результати дослідження роботи ґрунтообробного ротаційного знаряддя у польових умовах. *Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування* : матеріали VI Всеукр. наук.-практ. інтернет-конф., 21-22 грудня 2023 р. Полтава, 168-171.



РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ ПОСІЧЕНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

*Скрипник В. О., доктор технічних наук, професор,
Семенов А. О., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Бобошко О. О., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Мусіяка Н. А., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

У м'ясопереробній промисловості сьогодні все більшого значення набуває підвищення енергоефективності та стабільності якості готових виробів. Серед сучасних напрямів технологічного вдосконалення одним із найбільш перспективних вважається застосування контактних (кондуктивних) методів жарення, що дають можливість поєднати високу швидкість теплової обробки з економним споживанням енергії. Такий принцип полягає у прямому тепловому контакті між нагрітою поверхнею і м'ясним напівфабрикатом, де тепло передається переважно шляхом теплопровідності, а не конвекцією чи випромінюванням [1].

Запропонований підхід є особливо важливим для невеликих цехів та міні-виробництв, де необхідно забезпечити стабільність параметрів процесу без застосування складного автоматизованого обладнання. Кондуктивне жарення дозволяє скоротити тривалість термічної обробки, зберегти структуру і соковитість м'яса, а також знизити питомі енерговитрати. Разом з тим ефективність цього процесу суттєво залежить від конструкції апарата та правильного підбору режимних параметрів [2].

Метою дослідження було визначення раціональних параметрів кондуктивного жарення посічених м'ясних напівфабрикатів зі свинячо-яловичого фаршу, а також формулювання інженерних вимог до апаратів, здатних реалізовувати дану технологію у виробничих умовах.

Для досягнення поставленої мети було використано експериментальний стенд контактного типу, який складався з модернізованого контактного гриля Frosty, терморегулятора ТРЦ-02 «Універсал», енергометра, ваг і системи створення тиску. Конструкція забезпечувала двостороннє рівномірне нагрівання та можливість

регулювання надлишкового тиску у межах 3...7 кПа. Завдяки цьому вдалося моделювати умови, максимально наближені до промислових.

Під час експериментів досліджувались впливи температури нагрівальних поверхонь у діапазоні 120...140 °С і тиску притискання на тривалість жарення, питомі енерговитрати та вихід готової продукції. Методика базувалася на плані експерименту типу 2^2 із центральною точкою, що дозволило отримати рівняння регресії другого порядку та побудувати тривимірні поверхні відгуку. Вони відображали зміну показників у залежності від поєднання технологічних факторів.

Результати показали, що збільшення температури поверхонь сприяє скороченню часу жарення. Вищий тиск покращує тепловий контакт, але перевищення рівня 7 кПа викликає деформацію структури фаршу та розрив виробу під час підймання верхньої поверхні. Таким чином, раціональним поєднанням параметрів є температура поверхонь жарення 140 °С і надлишковий тиск 7 кПа, що забезпечує повну термічну обробку виробів, зниження питомих енерговитрат до 0,178...0,190 кВт·год/кг готової продукції та підвищення виходу готового продукту до 91 %.

Визначені режими стали підґрунтям для формування технологічних вимог до апаратів кондуктивного жарення. До таких апаратів висуваються особливі конструктивні критерії: висока теплопровідність нагрівальних плит, рівномірність температурного поля за всією робочою поверхнею, стабільність тиску притискання і точність автоматичного регулювання температури. Найефективніше себе зарекомендували двоповерхневі установки з незалежним контролем температури верхньої та нижньої поверхонь.

Робочі поверхні доцільно виготовляти з матеріалів із високим коефіцієнтом теплопередачі – алюмінієвих або сталевих сплавів із терморегулюючими вставками. Товщина плит повинна становити 8...12 мм, що забезпечує необхідну теплову інерційність без суттєвого зниження швидкодії нагріву. Поверхні покривають антипригарним шаром, стійким до високих температур і частого очищення. Необхідною умовою є герметичність стиків, термоізоляція корпусу, а також наявність системи відведення жиру і пари.

Важливим компонентом конструкції є система притискання. Вона може бути механічною, пружинною, гідравлічною або пневматичною. Для малих виробництв доцільно використовувати ручний або пружинний варіант, тоді як промислові апарати мають оснащуватися

гідроприводами, які дозволяють точно регулювати тиск. Система керування повинна включати датчики температури, часу, тиску та енергоспоживання з можливістю автоматичного відключення при відхиленні від заданих режимів.

З інженерно-теплотехнічної точки зору процес можна розглядати як контрольований контактний теплообмін між двома твердими тілами з тонким шаром харчової сировини. Інтенсивність теплопередачі визначається коефіцієнтом теплопровідності матеріалу плити λ і товщиною шару δ , при цьому щільність теплового потоку описується рівнянням $q = \lambda (\Delta T / \delta)$. Для забезпечення рівномірного прогрівання слід мінімізувати контактний термічний опір шляхом використання гладких поверхонь і постійного притискового тиску.

Розроблені раціональні параметри можуть бути використані для створення удосконалених апаратів – енергоефективних контактних жарильних систем із адаптивним керуванням температурою і тиском. Такі апарати здатні знизити енерговитрати на 10...15 %, скоротити час обробки та забезпечити стабільну якість готових виробів. Перспективним є інтегрування таких установок у модульні виробничі лінії для малих підприємств харчової промисловості.

У технологічному сенсі пропонована система відповідає сучасним вимогам до харчової безпечності, зручності очищення і надійності експлуатації. Вона може стати основою для подальших досліджень, спрямованих на моделювання процесів тепломасообміну, визначення ексергетичних коефіцієнтів ефективності й удосконалення конструкцій контактних апаратів.

Отримані результати підтверджують, що кондуктивне жарення під регульованим надлишковим тиском є ефективним способом теплової обробки посічених м'ясних виробів, який поєднує високу якість, безпечність і економічність. Встановлені параметри та технічні вимоги можуть бути використані як інженерна база для проектування апаратів контактного типу, що відповідають критеріям сучасного харчового виробництва.

Список джерел посилання

1. Підвищення енергетичної і ресурсної ефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення м'яса : монографія / Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю., Фарісеєв А. Г., Тарасенко Д. С. Полтава : ПП «Астрія», 2024. 274 с. URL:

<http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/13830> (дата звернення – 23.05.2024 р.)

2. Conductive Frying Of Meat : Current State And Prospects : Monographia / comp. Skrypnyk V., Yeleussinov B., Semenov A. Kyzylorda: 2025. 374 p. URL: https://www.researchgate.net/profile/Viacheslav-Skrypnyk?ev=hdr_xprf (дата звернення – 03.09.2025 р.).

УДК 620.178.6

АНАЛІЗ МЕХАНІЗМІВ ФОРМУВАННЯ ВТОМНОГО КОНТАКТНОГО РУЙНУВАННЯ

*Халін С. В., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Більшість деталей, що використовуються в різних галузях промисловості, працюють в умовах циклічної контактної взаємодії. Завдяки цій взаємодії передаються навантаження від одного вузла машини до іншого.

Механізм розвитку втомного контактного руйнування залишається досі не до кінця дослідженим. Проведено велику кількість випробувань з метою отримання експериментальних даних контактної втомної міцності [1]. Але з появою нових матеріалів, нових методів обробки цих матеріалів, а також різних термічних і хімічних методів зміцнення, старі експериментальні дані стають неактуальними. Тому і сьогодні проводиться велика кількість випробувань на контактну втому.

Після узагальнення численних даних, накопичених за весь час дослідження контактної втоми, можна виділити три найпоширеніші механізми розвитку втомного контактного руйнування: руйнування внаслідок дії змінних напружень, руйнування внаслідок взаємодії з мастилом, і руйнування внаслідок різних хімічних реакцій як з навколишнім середовищем, так і з добавками в мастильний матеріал.

Найчастіше для опису першого механізму руйнування використовують теорію контактної взаємодії, що розроблена Герцем [2]. Герцем вирішено задачу про зближення двох пружних тіл з відомою кривизною під дією стискаючої сили.

Сам контактний тиск не є причиною втомного руйнування.

Причиною руйнування є напруження в матеріалі, що виникають внаслідок контактної взаємодії. Відомо, що максимальне напруження в матеріалі досягається на невеликій глибині від поверхні контакту [3]. Прийнято вважати, що саме через змінну дію цих напружень і відбувається втомне руйнування. Передбачено, що в будь-якому матеріалі є дефекти кристалічної решітки і через дію даних напружень створюються умови для появи в матеріалі, в місці, де реалізуються максимальні напруження, тріщин. Відповідно до спостережень і теорій виникнення і зростання втомних тріщин висунуто припущення, що тріщини з'являються в матеріалі на глибині паралельно поверхні кочення і перпендикулярно осі обертання зразка [4].

Зокрема, існує теорія, що втомні тріщини зароджуються не в глибині матеріалу, а починають з'являтися на поверхні. Так у роботі [5] показано, що втомне руйнування можна оцінити за допомогою наведеного поверхневого напруження при спільній дії нормального та довільно спрямованого дотичного навантажень.

У роботі [6] запропоновано теорію про те, що руйнування залежить не тільки від дотичних напружень, що діють в матеріалі, але і від наявності нормальних напружень стиснення, які будуть спрямовані перпендикулярно площинам зсуву. Такий підхід спирається на уявлення про те, що при наявності стискаючих напружень збільшується сила тертя між площинами зсуву, яка перешкоджатиме ковзанню між ними.

Крім обговорень втомної міцності тільки з позиції напруженого стану, є й теорії, що спираються на ефект, який надають мастильні матеріали. Спостереженнями вчених [7] на основі дослідів встановлено, що за відсутності мастильного матеріалу на поверхнях контакту зразки практично не вдавалося довести до втомного викришування. У той же час, якщо до цих зразків починали підводити масло, то через певну кількість циклів навантаження на поверхні зразка починали з'являтися характерні для втомного викришування «ямки».

У першому випадку вважають, що отвір даної тріщини спрямований до набігаючої оливи, стиснутої контактним тиском. Олива спрямовується вглиб зароджуваної тріщини, ударяється об стінки і роздає її. Потім через набігаючу контактну поверхню тріщина закривається і відбувається її подальше стискання маслом. Внаслідок цього тріщина продовжує збільшуватись.

Також відомий ефект зниження міцності під впливом абсорбції

[8]. При використанні масел з активними добавками, молекули поверхні матеріалу «вбирають» молекули даних добавок, що в деяких випадках має істотний вплив на втомну міцність матеріалу.

У результаті аналізу передбачуваних механізмів втомного контактного руйнування виявлено, що руйнування ймовірно починається через наявність в матеріалі приповерхневих дефектів, в зоні яких цикл зміни напружень може мати знакозмінний характер. Спираючись на механізми руйнування, можна спробувати сформулювати умову контактної витривалості, в якій використовуватиметься втомна характеристика матеріалу при симетричному циклі навантаження.

Список джерел посилання

1. Alfredsson B., Olsson M. Standing contact fatigue. *Fatigue & Fracture of Engineering Materials & Structures*, 1999. Vol. 22. pp. 225–237. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1460-2695.1999.00154.x>.
2. Ledesma-Alonso R., Raphaël E., Léger L., Restagno F., Poulard C. Stress concentration in periodically rough Hertzian contact: Hertz to soft-flat-punch transition. *Proc. R. Soc.*, 2016. A.47220160235. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.2016.0235>.
3. Ghazanfari Holagh A., Alizadeh Kaklar J. The effect of material defect orientation on rolling contact fatigue of a ball bearing. *Sci. Rep.*, 2023. Vol. 13. pp. 15352. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-023-42677-y>.
4. Zhou Y, Zhu C, Song C, Chen Y, Zhou M. The effect of friction on surface crack initiation in rolling contact fatigue considering damage accumulation. *Fatigue Fract Eng Mater Struct*, 2023. Vol. 46(9). pp. 3487–3500. DOI: <https://doi.org/10.1111/ffe.14092>.
5. Gates N. R., Fatemi A. Interaction of shear and normal stresses in multiaxial fatigue damage analysis. *Fracture and Structural Integrity*, 2016. Vol. 10(37). pp. 160–165. DOI: <https://doi.org/10.3221/IGF-ESIS.37.22>.
6. Meggiolaro M. A., Pinho de Castro J. T., Wu H. Static axial tension or compression stress effects on shear cracks initiating under cyclic torsion loads in multiaxial fatigue tests. *International Journal of Fatigue*, 2024. Vol. 179. pp. 108021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2023.108021>.
7. Lai J., Wang J., Ioannides S. Investigating lubricant effects on surface cracks in rolling contact fatigue: Analytical and numerical modelling. *Tribology International*, 2025. Vol. 210. pp. 110771. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2025.110771>.
8. Bonnaud P. A., Moritani H., Kinjo T., Sato N., Tohyama M.

Improving the adsorption strength of amine-based organic additives for reducing wear. *Tribology International*, 2023. Vol. 187. pp. 108675. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2023.108675>.

УДК 539.376

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛИШКОВИХ НАПРУЖЕНЬ У ВАЛАХ

*Шкляр Ю. В., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Канівець О. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Залишкові напруження у валах виникають внаслідок технологічних операцій виготовлення та обробки. Механічна і термічна обробка, зварювання та інші технологічні процеси створюють нерівномірні деформації матеріалу. Ці деформації призводять до формування внутрішніх напружень, що зберігаються після завершення обробки. Залишкові напруження впливають на міцність та довговічність валів. Розтягувальні залишкові напруження зменшують опір втомі та сприяють утворенню тріщин. Стискальні напруження, навпаки, підвищують втомну міцність деталей. Контроль залишкових напружень дозволяє прогнозувати поведінку валів під навантаженням та попереджати передчасні руйнування [1].

Методи визначення залишкових напружень поділяються на руйнівні та неруйнівні. Руйнівні методи базуються на вимірюванні деформацій після видалення частини матеріалу. Неруйнівні методи використовують фізичні властивості матеріалу без порушення його цілісності.

Метод свердління отворів [2] належить до напівруйнівних методів. Суть методу полягає у свердлінні невеликого отвору у досліджуваній зоні вала. Навколо отвору встановлюють тензорезистори, що реєструють деформації після видалення матеріалу. За виміряними деформаціями розраховують величину та напрямок залишкових напружень. Метод характеризується високою точністю та відносною простотою виконання. Діаметр отвору зазвичай становить 1,5...3 мм, а глибина не перевищує 2 мм. Метод дозволяє визначати напруження на різній глибині шляхом поетапного свердління. Переваги методу свердління включають локальність вимірювань та

можливість дослідження градієнта напружень по глибині. Обмеження методу пов'язані з необхідністю механічного втручання у деталь. Отвір може стати концентратором напружень при подальшій експлуатації. Метод непридатний для тонкостінних валів та деталей з високими вимогами до поверхні.

Рентгенівський метод визначення залишкових напружень [3] базується на дифракції рентгенівського випромінювання. Напруження змінюють міжплщинні відстані кристалічної решітки матеріалу. Зміна цих відстаней викликає зсув дифракційних ліній на рентгенограмі. Вимірювання зсуву дозволяє розрахувати величину напружень у поверхневому шарі вала. Рентгенівський метод не порушує цілісність деталі та забезпечує високу точність вимірювань. Глибина проникнення рентгенівського випромінювання у сталеві вали становить 10...30 мкм. Сучасні рентгенівські дифрактометри забезпечують автоматизацію процесу вимірювання. Портативні прилади дозволяють проводити дослідження безпосередньо на виробництві без демонтажу валів. Точність методу становить $\pm 20...30$ МПа. Обмеження рентгенівського методу включають високу вартість обладнання та необхідність кваліфікованого персоналу.

Ультразвуковий метод визначення залишкових напружень [4] використовує залежність швидкості поширення ультразвукових хвиль від напруженого стану матеріалу. Напруження змінюють пружні властивості металу, що впливає на швидкість ультразвуку. Вимірювання швидкості у різних напрямках дозволяє визначити величину та орієнтацію головних напружень. Ультразвуковий метод характеризується простотою та доступністю обладнання. Метод дозволяє досліджувати напруження на значній глибині від поверхні. Портативні ультразвукові прилади забезпечують оперативний контроль валів у виробничих умовах. Обмеження методу пов'язані з відносно низькою точністю та чутливістю до структури матеріалу.

Вибір методу визначення залишкових напружень залежить від конкретних умов дослідження. Розміри вала, матеріал, вимоги до точності та можливість руйнування деталі визначають оптимальний метод контролю. Для відповідальних деталей застосовують комбінацію декількох методів для перехресної перевірки результатів.

Сучасні тенденції розвитку методів контролю спрямовані на підвищення точності, автоматизацію процесу вимірювань та розробку портативного обладнання. Інтеграція різних методів у комплексні системи діагностики дозволяє отримувати повну інформацію про

напружений стан валів. Розвиток чисельних методів моделювання сприяє інтерпретації експериментальних даних та прогнозуванню поведінки деталей під навантаженням.

Список джерел посилання

1. Дудніков А. А., Дудник В. В., Бурлака О. А., Канівець О. В. Зміна характеристик матеріалу деталей при вібраційному зміцненні. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця, 2020. № 4 (99). С. 21-28. <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2020-4-3>.
2. Scafidi M., Valentini E., Zuccarello B. Error and Uncertainty Analysis of the Residual Stresses Computed by Using the Hole Drilling Method. *Strain*, 2011. Vol. 47(4). pp. 301–312. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1475-1305.2009.00688.x>.
3. Luo Q. A modified X-ray diffraction method to measure residual normal and shear stresses of machined surfaces. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2022. Vol. 119. pp. 3595–3606. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08645-4>
4. Wang, Y., Li, Y., Liu, H., Zhang, X., Liu, Y., & Liu, K. Plane residual stress measurement using ultrasonic considering weak anisotropy of metallic material. *AIP Advances*, 2018. Vol. 8(10). pp. 105008. <https://doi.org/10.1063/1.5042466>.

УДК 631.372:631.251

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ТА СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ МАШИН ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У АГРОВИРОБНИЦТВІ

Скоряк Ю. Б., старша викладачка,
Лебідь С. О., здобувачка вищої освіти другого рівня (магістр),
Василевич В. О., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет

Машини безперервного транспортування класифікують за типом тягового органу (стрічкові, скребкові, гвинтові, ланцюгові, елеватори), характером роботи (безперервна чи періодична дія), типом вантажу (насипні чи штучні) та конструктивними ознаками (горизонтальні, похилі, пересувні, стаціонарні тощо) [1].

Основні класифікаційні ознаки [2, 3]:

1. За наявністю тягового органу: - з тяговим органом: більшість конвеєрів (наприклад, стрічкові, пластинчасті, скребкові); - без тягового органу: переміщення вантажу відбувається іншим способом (наприклад, гвинтові (шнеки), гравітаційні, пневматичні та вібраційні транспортери).

2. За родом переміщуваного вантажу: - для штучних вантажів; - для насипних (сипучих) вантажів.

3. За принципом дії: - машини, що переміщують вантаж постійно (безперервно); - машини, що переміщують вантаж окремими порціями (характерно для машин періодичної дії, але деякі конвеєри можуть мати такий режим).

4. За напрямком переміщення вантажу: - горизонтальні; - похилі (під кутом); - вертикальні; - комбіновані (зміна напрямку).

5. За конструктивними особливостями (типом робочого/тягового органу): - стрічкові: використовують гнучку стрічку (гумову, тканинну) як тяговий та вантажонесучий елемент; - пластинчасті: використовують пластини, прикріплені до ланцюгів, для переміщення важких або гарячих вантажів; - скребкові: вантаж переміщується по нерухомому жолобу за допомогою скребоків, закріплених на тяговому ланцюзі; - ковшові (елеватори): для вертикального переміщення сипучих матеріалів у ковшах; - гвинтові (шнеки): переміщують вантаж за допомогою обертового гвинта всередині закритого кожуха; - пневматичні та гідравлічні: переміщують сипучі або рідкі вантажі потоком повітря чи рідини по трубопроводах.

6. За мобільністю: - стаціонарні; - пересувні (мобільні); - самохідні.

7. За призначенням: - вантажопідйомні; - транспортувальні; - вантажно-розвантажувальні.

Через велику різноманітність транспортуючих машин, вирішення однієї і тієї ж технологічної задачі можуть бути обрані різні типи машин. Основними критеріями вибору засобів механізації є задоволення комплексу технічних факторів (вимог) та техніко-економічна ефективність застосування машин, забезпечення надійності (безвідмовності); безпеки праці.

До одного з різновидів шнекових транспортерів належать спіральні-гвинтові транспортери. За конструктивними ознаками вони мають цілу низку варіантів виконання, а в окремих випадках спіральний гвинт може виконувати також функцію обробного робочого органу.

З механічних трубопровідних транспортерів найперспективнішими є спірально-гвинтові. Ланцюгові транспортери найбільш ефективні при вертикальному транспортуванні, шнекові – при горизонтальному. Спірально-гвинтові транспортери можуть транспортувати сипкі, напіврідкі та рідкі матеріали як у горизонтальному, вертикальному, і у просторовому напрямках. Можуть працювати як на малих, так і великих швидкостях [3].



Рисунок 1.1 – Класифікація безстержневих спірально-гвинтових транспортуючих пристроїв

У всіх транспортерах (механічних, рідинних, пневматичних) робочим органом є насос. Але конструктивно вони оформлені по-різному. Будь-який транспортер, що працює на великих швидкостях, завжди матиме найкращі техніко-економічні показники [4].

Тому дослідження та вдосконалення транспортерів з безстрижневими, спірально-гвинтовими робочими органами велике значення.

Одночасно з переміщенням матеріалу спірально-гвинтовий робочий орган може виконувати і цілу низку інших технологічних процесів (дозування, розподіл, нагрівання, перемішування, смикання, електризацію матеріалу).

Спірально-гвинтовий транспортер має ряд переваг: гнучкістю; відсутністю передавального механізму від двигуна до робочого органу; компактністю; універсальністю; відсутністю ударних навантажень; простотою виготовлення робочого органу (спірального гвинта); простотою виготовлення та монтажу трубопроводів; низькою металоємністю; реверсивністю переміщення матеріалу; можливістю приводу робітника органу від будь-яких джерел енергії (електричного, гідравлічного, механічного, від опорних коліс (сільськогосподарських машин); можливістю встановлення спірально-гвинтового робочого органу на агрегатах як стаціонарного, і мобільного варіантів.

Список джерел посилання

1. Дереза О.О. Машины безперервного транспорту. Мелітополь: Таврійський державний агротехнологічний університет, 2016. 108 с.

2. Бондарєв В.С., Дубинець О.І., Колісник М.П. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник. Київ: Вища шк., 2009. 734 с.

3. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини: підручник. Київ. 1993. 413 с.

4. Обладнання для транспортування зерна. URL: <https://agroexpert.ua/obladnannia-dlia-transportuvannia-zerna-pid-chas-zberihannia/> (дата звернення 18.11.2025 р.).



УДК 629.3:004.896:614.82

«NO BOOTS IN THE BIN» – ПРОГРЕСИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЩО РЯТУЮТЬ ЖИТТЯ

*Прілепо Н. В., старша викладачка,
Упоров А. Є., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Полтавський державний аграрний університет*

Аграрна сфера є однією із найбільш небезпечних індустрій світу, і зерносховища – одне із найнебезпечніших середовищ. Як відомо, обслуговування зерносховищ потребує постійного нагляду для забезпечення вентиляції, потрібної вологості та якості зернового матеріалу. Досягнення цих цілей, на сьогодні, майже неможливе без втручання людини та фізичного перебування особи всередині бункера, що, у свою чергу, несе небезпеку для життя робітника. Наприклад, за щорічною статистикою Університету Пердью (США), кафедра сільськогосподарської та біологічної інженерії якого документує та розслідує інциденти, пов'язані із зерносховищами та іншими об'єктами для обробки зерна у сільськогосподарських господарствах починаючи з 1970-х років, за 2024 рік, лише офіційно було задокументовано 34 випадки захоплення працівників текучим зерном, що у 41,2% випадків завершилося смертю [1]. І це не поодинокі випадки – у 2023 році рівень смертності складав 59,3% [2].

Основним фактором високої небезпеки є швидкість руху зерна, яке діє як сипучий пісок. Людина може погрузнути по коліна та не мати змоги звільнитися вже за 4-5 секунд, а за 20 секунд – повністю опинитися під зерном. Тиск зерна робить самотійний порятунок майже неможливим. Якщо людина загрузла по пояс, то для звільнення їй необхідна сила, що дорівнює її власній вазі із додаванням приблизно 270 кг. Сила ж що необхідна для того щоб витягнути людину, яка знаходиться під зерном повністю, перевищує 900 кг [3]. Проте, задуха у зерні є лише однією із небезпек. Серед інших – падіння із висоти, втрата кінцівки та легеневі захворювання, що викликані вдиханням зернового пилу.

Через вищезазначені причини, робототехніка та машинобудування агропромислової галузі працюють над технічними рішеннями, які повинні нівелювати ці небезпеки. Крім того, необхідною умовою є здатність пересуватися по ньютонівській,

зернистій поверхні, виконуючи завдання з високим крутним моментом, що неможливо для традиційних колісних або гусеничних роботів.

На сьогодні, такою розробкою є Grain Weevil – результат стартапу Чада й Бена Джонсонів, що виник у 2020 році як студентська розробка, а через кілька років вже здобував перемогу у конкурсах світового рівня. Основною інновацією Grain Weevil є його підхід до террамеханіки – інженерного напрямку, що вивчає взаємодію між транспортними засобами та деформованою поверхнею. Сипуче зерно (кукурудза, пшениця чи соя) має низьку міцність на зсув, що спричинює глибоке занурення і ковзання звичайних колес. Щоб подолати цю проблему, Grain Weevil використовує гвинтовий привід у якому шасі конструкції спирається на два паралельних Архімедових гвинта [4].

Розглядаючи зерно як рідке середовище, а не тверду речовину, обертові гвинти створюють підйомну силу, яка утримує робота на поверхні зернового матеріалу, забезпечуючи поступальний рух вперед за кожен крок гвинта. Така система руху виконує подвійну функцію, обертання гвинтів, що необхідне для руху, активно перемішує зерно, вирівнюючи піки та розбиває грудки, що можуть утворюватися, без необхідності використання додаткового маніпулятора.

Система Grain Weevil є повністю електричною і живиться від акумулятора, що усуває необхідність у будь-яких кріпленнях чи кабелях. Сам робот є достатньо легким (≈ 20 кг), щоб запобігти структурному навантаженню на підлогу бункера.

Типові умови зберігання зерна становлять додаткові індивідуальні інженерні виклики. Оскільки, зерновий пил має високу абразивність та електропровідність, при проектуванні робота було враховано потребу у герметичній трансмісії та пасивному терморегулюванні, що зменшує ризик займання пилу. Іншою проблемою є неможливість використання GPS для орієнтації робота у просторі. Зернові бункери діють як клітки Фарадея, блокуючи супутникові сигнали. Як наслідок, Grain Weevil не може покладатися на RTK-GPS (Real Time Kinematic GPS), через що навігація базується на внутрішній одометрії, інерційних вимірювальних блоках (IMUs) та датчиках картографування поверхні для виконання автономного вирівнювання пристрою.

Звісно, Grain Weevil не єдина спроба забезпечити роботу у зернохосвищах. Найближчим його аналогом є Grover, розробка із

Шотландії, що являє собою робота, що «плаває» у зерновій масі [5]. Різниця полягає в тому, що на відміну від Grain Weevil, який рухається по поверхні, Grover спроектований таким чином, щоб занурюватися у зерно для вимірювання запрограмованих показників по всій глибині зерна. Іншою, достатньо відмінною, проте розповсюдженою технологією є Bin Sweep Augers [6]. Ця розробка має вигляд великих механічних шнекових транспортерів, що встановлюються на дні зерносховищ та можуть рухати сипучі матеріали. Крім достатньо високої вартості, вони встановлюються на постійній основі, є схильними до технічних пошкоджень та мають складнощі із ремонтом.

Загалом, Grain Weevil є значним проривом у галузі сільськогосподарської мехатроніки. Це технічне рішення демонструє, що легкі, спеціально розроблені роботи можуть перевершувати важкі стаціонарні машини в неструктурованих середовищах. Використовуючи специфічні фізичні властивості гранульованих середовищ за допомогою гвинтового приводу, цей винахід пропонує реальний шлях до автоматизації однієї з найнебезпечніших сільськогосподарських робіт, що може серйозно змінити стандарти безпеки в галузі.

Список джерел посилання

1. Purdue University. 2024 Summary of U.S. Agricultural Confined Space-related Injuries and Fatalities. URL: <https://www.purdue.edu/engineering/abe/agconfinespaces/wp-content/uploads/2025/05/2024-Summary-of-U.S.-Agricultural-Confined-Space-related-Injuries-and-Fatalities-Report.pdf> (дата звернення: 24.11.2025).
2. Purdue University. 2023 Summary of U.S. Agricultural Confined Space-related Injuries and Fatalities. URL: <https://www.purdue.edu/engineering/ABE/INPREPared/wp-content/uploads/2024/10/2023-Summary-of-US-Ag-Confined-Space.pdf> (дата звернення: 24.11.2025).
3. University of Minnesota Extension. Risks of working in grain bins. URL: <https://extension.umn.edu/farm-safety/grain-bin-safety> (дата звернення: 24.11.2025).
4. Grain Weevil. URL: <https://grainweevil.com/>
5. The Crover Effect. URL: <https://www.crover.tech/our-technology>
6. Bin Sweep Auger: pat. 006/0245864 A1 США. № 11/098, 617; заявл. 05.04.2005; опубл. 02.11.2006.

УДК 003.56:004.94:66.02

ІНЖЕНЕРНІ ВИКЛИКИ ТА МОЖЛИВОСТІ ОБ'ЄМНОГО АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА У РІДКИХ СЕРЕДОВИЩАХ

*Прілепо Н. В., старша викладачка,
Дорошенко К. С., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Полтавський державний аграрний університет*

Традиційні технології адитивного виробництва, такі як моделювання методом наплавлення (FDM-друк) та стереолітографія (SLA-друк), мають певні фундаментальні обмеження. Зокрема, ті, які пов'язані з силою гравітації, що вимагає використання опорних конструкцій, або з анізотропною слабкістю, властивою пошаровому створенню об'єктів. Для подолання цих бар'єрів, сучасні інженери звертаються до друку в рідких середовищах.

RPL (Rapid Liquid Printing), започаткована у лабораторіях Массачусетського технологічного інституту, передбачає екструзію матеріалу (рідкого полімеру, силікону чи поліуретану) всередину резервуару з гелевим розчином [1]. Сам гель підтримує матеріал у просторі, дозволяючи знехтувати силою тяжіння, та друкувати складні структури без обов'язкової наявності опорних елементів. Оскільки, гель має властивості, що дозволяють йому відновлювати свою структуру після проходження сопла, це дозволяє друкувати у будь-якому напрямку, а не лише знизу вгору. На відміну від FDM-друку, RPL може використовувати двокомпонентні матеріали, що змішуються безпосередньо у соплі та тверднуть за рахунок хімічної реакції [2].

CAL (Computed Axial Lithography) базується на томографічній реконструкції, що дозволяє віалізувати об'єкт одночасно у трьох проєкціях та під різними кутами [3]. Принцип дії цього виду друку полягає у наступному – контейнер, який містить у собі фотополімер обертається поки цифровий проєктор транслює на нього серію зображень під різними кутами. Світло проходить через весь об'єкт, але полімеризація відбувається лише там, де перетин світлових променів перетинає певний енергетичний поріг [4].

Таким чином, об'єкт виникає одночасно у повному об'ємі, що робить елементи, виготовлені таким способом, ізотропними. Тобто такими, що мають однакову міцність та провідність у всіх напрямках.

Завдяки своїм характеристикам обидва вищевказані види 3D друку мають низку застосувань у механічній та електричній інженерії.

Для аграрно сектору технологія RPL дозволяє друкувати ряд актуальних застосувань або деталей, оскільки працює вона не із крихким пластиком, а з більш еластичною сировиною. М'які роботизовані захвати, наприклад, для автоматизованого збору врожаю, дозволяють значно зменшити потенційну втрату його частини за рахунок зменшення механічних пошкоджень плода [5]. Актуальним RPL-друк буде й для ергономічних елементів тракторної техніки, що значно підвищить комфорт роботи її операторів.

Цікавим є й потенційне застосування цього методу для створення безповітряних шин з внутрішньою стільниковою структурою, зокрема для аграрних дронів та роботів. Використання двокомпонентних поліуретанів промислового класу забезпечує високу зносостійкість й еластичність кінцевого виробу, а сама специфіка процесу друку дозволяє створювати складні внутрішні амортизаційні структури [6].

В сучасній електротехніці, RPL технологія дозволяє вирішити проблеми герметичності та ізоляції нестандартних форм. Її використання можливе для друку герметичних ущільнювачів довільної форми, гнучких кабельних каналів, віброізоляції для трансформаторів або двигунів, тощо. Суттєвими перевагами цього типу друку є монолітність отриманої деталі, що може бути критично для гідравліки чи пневматики, та використання сертифікованої сировини для хімічної та термічної стійкості.

CAL технологія на сьогоднішній день працює із невеликими об'єктами, що дещо скорочує ширину сфер її використання. Тому, для сільськогосподарського машинобудування поки актуальні питання виготовлення високотехнологічних дрібних вузлів – форсунки для систем точного зрошування з ідеально гладкими внутрішніми каналами, об'ємні дрібні кліпси чи фіксатори, що є стійкими до розшарування, тощо. З іншої сторони, великий потенціал має виготовлення мікрофлюїдних чіпів [7]. Ідеально гладкі стінки мікроканалів, можливість спірального або переплетеного друку, навіть друк чіпу вже із портами для під'єднання, а також вартість та тривалість виготовлення, є явними перевагами CAL-друку.

Високий потенціал має використання такої технології й в електротехніці та електроніці. Інкапсуляція електроніки шляхом отримання ідеально герметичного монолітного блоку без швів, що захищений від вологи та вібрації, ідеально підходить для військової

електроніки або IoT-датчиків. Оскільки CAL-друк не створює шарів, поверхня деталі виходить оптично гладкою без полірування, а отже, це дозволяє друкувати складні лінзи, світлопроводи або конектори для оптоволокна, які інтегруються безпосередньо в корпус приладу. Відсутність шарів означає також відсутність мікропорожнеч, що дозволяє створювати ізолятори з ідеальною діелектричною однорідністю.

Впровадження технологій Rapid Liquid Printing (RLP) та Computed Axial Lithography (CAL) знаменує собою перехід адитивного виробництва до стадії виготовлення повнофункціональних промислових компонентів. На сьогодні, ці методи перестають бути експериментальними й стають інструментами стратегічної переваги. Вони дозволяють локалізувати виробництво запчастин, знизити залежність від логістики та створювати принципово нові інженерні рішення, які неможливо реалізувати традиційним литтям чи фрезеруванням.

Список джерел посилання

1. Rapid Liquid Print. Innovation that Defies Gravity. URL: <https://www.rapidliquidprint.com/> (дата звернення 24.11.2025)
2. Hajash, K., Sparrman, B., Guberan, C., Laucks, J. & Tibbits, S. (2017). Large-Scale Rapid Liquid Printing. *3D Printing and Additive Manufacturing*. Vol. 4, No. 3, 123-132. DOI: <https://doi.org/10.1089/3dp.2017.0037>
3. Computed Axial Lithography (CAL) for 3D Additive Manufacturing. Innovation and partnership office. URL: <https://ipo.llnl.gov/ipo-technologies/advanced-manufacturing/computed-axial-lithography-cal-3d-additive-manufacturing> (дата звернення 24.11.2025)
4. Tisato S., Vera G., Mani A., Chase T., Helmer D. An easy-to-build, accessible volumetric 3D printer based on a liquid crystal display for rapid resin development. *Additive Manufacturing*. 2024. Vol. 87. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2024.104232> (дата звернення 24.11.2025)
5. Blanco K., Navas E., Emmi L., Fernandez R. Manufacturing of 3D Printed Soft Grippers: A Review. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3369493>
6. Wang J., Yang B., Lin X., Gao L., Liu T., Lu Y., Wang R. Research of TPU Materials for 3D Printing Aiming at Non-Pneumatic Tires by FDM Method. *Polymers*. 2020. №12. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym12112492>

7. Toombs J., Luitz M., Cook C. C., Jenne S., Li C. C., Sun Y., Rapp B. E., Kotz-Helmer F., and Taylor H. K. Computed axial lithography: processing of nanocomposite materials and prospects for fabricating optical elements. *Advanced Fabrication Technologies for Micro/Nano Optics and Photonics XVI: Proceedings Volume PC12433*, San Francisco, 17 March 2023. DOI: <https://doi.org/10.1117/12.2661941>

УДК 664.951:664.01

РОЗРОБЛЕННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ІМПУЛЬСНОГО КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ НАТУРАЛЬНИХ ВИРОБІВ ІЗ ЯЛОВИЧИНИ

*Скрипник В. О., доктор технічних наук, професор,
Семенов А. О., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Передерій Р. М., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Крайній К. О., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Ефективність теплової обробки м'ясних натуральних виробів значною мірою залежить від конструктивних особливостей технологічного обладнання, здатності забезпечувати рівномірний розподіл теплового потоку, точність регулювання температури та умови збереження внутрішньої вологи продукту [1]. Традиційні електричні контактні грилі, що використовуються в невеликих цехах і підприємствах ресторанного господарства, не забезпечують контрольованого механічного навантаження на сировину, що призводить до нерівномірного прогрівання, надмірних втрат маси та підвищеного енергоспоживання [2]. У зв'язку з цим постала необхідність розроблення обладнання, здатного реалізувати процес імпульсного кондуктивного жарення, виявленого як ефективний у попередніх технологічних дослідженнях.

Метою конструктивної розробки стало створення апарата, в якому надлишковий тиск у діапазоні 10...14 кПа міг би реалізовуватися імпульсно, з регульованою тривалістю одного імпульсу від 1 до 3 с, за температури робочих поверхонь 120...140 °С. Пристрій мав забезпечувати точний контроль параметрів процесу, стабільність температурного режиму та достатню механічну жорсткість силового механізму притискання.

Запропонована конструкція апарата включає верхню та нижню нагрівальні плити з антипригарним покриттям, систему силового імпульсного притискання електромеханічного типу з можливістю створення надлишкового тиску до 14 кПа, вузол датчиків температури, тиску та часу імпульсів, а також мікропроцесорний блок керування. Конструкція оснащена механізмом фіксації товщини продукту 0,015...0,020 м, що дає змогу забезпечити стабільність умов теплопередачі та повторюваність результатів.

Проведені теплофізичні розрахунки показали, що підвищення контактного тиску на поверхню м'язової тканини сприяє зменшенню термічного опору між нагрітою плитою та продуктом, що інтенсифікує теплопровідність і скорочує тривалість жарення в середньому на 22...26 %. При цьому енергоспоживання становить близько 0,028...0,033 кВт·год на одиницю маси 0,10 кг, а питомі витрати електроенергії – 0,29...0,33 кВт·год/кг готового продукту. Втрати маси після обробки у новому апараті не перевищують 18...21 %, що в середньому на 8...12 % нижче, ніж під час традиційного жарення, а вихід продукції збільшується до 79...82 %. Відносні втрати ексергії знижуються на 6...9 %, що свідчить про раціональнішу реалізацію енергетичної складової.

Конструкція відзначається можливістю автоматизації й інтегрування до систем керування виробництвом, що робить її придатною для використання в HoReCa, мініцехах, фермерських господарствах та мобільних польових кухнях. Перспективним напрямом розвитку є створення модифікацій з кількома паралельними робочими постами, а також розроблення універсальних моделей, здатних працювати з різними видами м'ясної сировини, включно з птицею та свининою.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність розроблення апарата для імпульсного кондуктивного жарення та дозволяють рекомендувати його для подальшого патентування та промислового впровадження. Таке обладнання здатне забезпечити оптимальне поєднання якості, енергетичної ефективності та безпечності, що відповідає сучасним вимогам харчових технологій, ресторанного бізнесу та малого м'ясопереробного виробництва.

Список джерел посилання

1. Підвищення енергетичної і ресурсної ефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення м'яса : монографія / Скрипник В. О.,

Молчанова Н. Ю., Фарісеєв А. Г., Тарасенко Д. С. Полтава : ПП «Астроя», 2024. 274 с. URL : <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/13830> (дата звернення - 23.05.2024 р.)

2. Conductive Frying Of Meat : Current State And Prospects : Monographia / comp. Skrypnyk V., Yeleussinov B., Semenov A. Kyzylorda: 2025. 374 p. URL : https://www.researchgate.net/profile/Viacheslav-Skrypnyk?ev=hdr_xprf (дата звернення – 03.09.2025 р.).

УДК 631.3:004.738.5

ПАТЕНТНІ РІШЕННЯ У СФЕРІ ІОТ-МОНІТОРИНГУ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ

*Басова Ю. О., кандидат технічних наук, доцент,
Левченко Ю. В., кандидат технічних наук, доцент,
Крюков М. С., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Інтенсивна експлуатація сільськогосподарської техніки зумовлює високі вимоги до технічного сервісу й своєчасної діагностики стану механізмів. Через це за останнє десятиліття спостерігається активне зростання кількості патентів, пов'язаних із системами ІоТ-моніторингу, які забезпечують безперервне зчитування параметрів робочих вузлів, аналіз відмов та формування рекомендацій для технічного обслуговування [1-3].

Патентна активність у цьому напрямі робить системи цифрової діагностики ключовою складовою сервісної інженерії, особливо в галузі сільськогосподарського машинобудування, де надійність техніки визначає ефективність виробничих процесів. Сучасні патентні рішення охоплюють такі типові підсистеми:

- сенсорний рівень (температура, вібрація, тиск, навантаження, витрати палива);
- комунікаційний рівень (NB-IoT, LoRaWAN, LTE-M, 5G);
- аналітичний рівень (прогнозування несправностей, штучний інтелект);
- сервісний рівень (рекомендації з ТО, повідомлення про відмови, формування ремонтних планів).

Більшість патентів розкривають комплексні рішення, що поєднують сенсорні дані з алгоритмами предиктивного обслуговування.

Нижче наведено систематизований аналіз патентів, які демонструють основні інноваційні напрямки (табл 1).

Номер, назва та країна патенту	Суть інновації	Новизна	Практичне значення
US 10,123,411 System for real-time tractor diagnostics (США)	Система включає модуль збору даних із датчиків температури, вібрації та навантаження трансмісії трактора. Дані передаються на сервер виробника через LTE-модем	• адаптивний алгоритм попередження перегріву; • прогнозування зносу шестерень трансмісії; • автоматичне сповіщення сервісного центру.	Один із перших масових патентів у сфері цифрового сервісу тракторів.
EP 3401189 – IoT-module for predictive maintenance of agricultural machines (ЄС)	Компактний багатосенсорний модуль, що встановлюється на редуктори, підшипникові опори чи гідравлічні системи с/г техніки	• бездротова передача даних (LoRaWAN); • оцінка ресурсу підшипників на основі FFT-аналізу; • інтеграція з електронним журналом ТО.	Патент орієнтується на низькоенергетичну роботу - ключовий аспект для віддалених агрегатів.
CN 208441928 – Intelligent hydraulic unit monitoring system (Китай)	Система IoT для контролю стану гідравлічних вузлів у реальному часі	• сенсори тиску та турбулентності в рідині; • алгоритм прогнозування гідроударів; • автоматичне регулювання клапанів для зменшення зношування.	Китай демонструє найвищу активність у патентуванні моніторингових систем гідравліки та мехатроніки
UA 133456 – Пристрій для діагностики вузлів трансмісії сільськогосподарської техніки (Україна)	Сенсорна підсистема з віброаналізатором та датчиком температури, що дозволяє оцінювати стан приводів.	• низька енергоємність; • сумісність із бортовими контролерами тракторів МТЗ, ХТЗ; • можливість інтеграції у IoT-мережу.	Приклад адаптації IoT-принципів для української техніки
UA 151274 – Система дистанційного моніторингу паливної системи комбайна	Контроль витрат палива, роботи форсунок та чистоти фільтрів.	• дистанційні повідомлення про забруднення фільтра; • попередження про відхилення тиску в паливній рампі.	Дозволяє проводити сервісну діагностику без зупинки машини

Впровадження IoT-технологій у сервісну інженерію сільськогосподарського машинобудування відкриває низку стратегічних можливостей, що безпосередньо впливають на ефективність експлуатації техніки, скорочення витрат та підвищення надійності сервісних процесів.

По-перше, IoT-моніторинг забезпечує перехід від регламентного до адаптивного технічного обслуговування, коли рішення приймаються на основі фактичного технічного стану агрегатів. Це дозволяє мінімізувати незаплановані простої, оптимізувати графік ремонтів та подовжити життєвий цикл ключових вузлів.

По-друге, використання систем реального часу дає змогу формувати цифровий профіль експлуатації машини, що включає історію навантажень, температуру, вібрацію, динаміку параметрів та інші діагностичні показники. Такі цифрові сліди стають основою для точного прогнозування відмов та обґрунтованого прийняття сервісних рішень.

Третьою перспективою є створення інтегрованих сервісних платформ, де IoT-пристрої взаємодіють із хмарними сервісами, мобільними додатками та системами обліку. Це дозволяє сервісним інженерам отримувати автоматизовані сповіщення, рекомендації щодо ремонту та формувати звітність у режимі реального часу.

Четверта перспектива пов'язана з розвитком машинного навчання та аналітики великих даних. Алгоритми детекції аномалій, прогнозування залишкового ресурсу, аналізу трендів та кореляцій значно підвищують точність діагностики порівняно з традиційними методами.

Також перспективним є поєднання IoT-моніторингу з технологіями Digital Twin (цифрових двійників). Це дає змогу моделювати роботу агрегата у віртуальному середовищі, порівнювати реальні та модельні дані, що особливо корисно при складних умовах експлуатації та діагностиці прихованих дефектів.

З позиції виробників техніки IoT-системи відкривають можливість створення нових сервісних бізнес-моделей, таких як сервіс за підпискою, дистанційна діагностика, сервіс на основі гарантованого ресурсу або сервіс як цифрова послуга (Maintenance-as-a-Service).

Нарешті, цифровізація сервісної інженерії сприяє формуванню уніфікованих галузевих стандартів і протоколів взаємодії, що дозволить об'єднувати в одну систему техніку різних виробників,

створювати єдині дані про парк машин та автоматизувати процеси прийняття рішень.

У сукупності ці перспективи визначають IoT-моніторинг як ключовий напрям розвитку сучасної сервісної інженерії, здатний забезпечити значне підвищення ефективності, надійності та економічності експлуатації сільськогосподарської техніки.

- переваги IoT у сервісній інженерії
- проблеми впровадження у сільськогосподарській техніці
- перспективи розвитку патентного поля [4-6].

Проведений аналіз свідчить, що системи IoT-моніторингу стають невід'ємним елементом технічного сервісу сучасних машин. Патентні рішення демонструють зростання рівня автоматизації, інтеграції з хмарними сервісами та впровадження прогнозних алгоритмів. Для України перспективним є розроблення недорогих модульних IoT-систем, орієнтованих на модернізацію існуючих тракторів і комбайнів.

Список джерел посилання

1. Espacenet Patent Database. European Patent Office. URL: <https://worldwide.espacenet.com/>
2. Patentscope. World Intellectual Property Organization. URL: <https://patentscope.wipo.int/>.
3. USPTO Patent Full-Text Database. United States Patent and Trademark Office. URL: <https://patft.uspto.gov/>.
4. Srivastava A. Engineering Principles of Agricultural Machines. 2nd ed. CRC Press, 2006. 360 p.
5. Гавриш О. П., Ткачук В. В. Технічне обслуговування і ремонт машин : підручник. Київ : Вища освіта, 2010. 543 с.
6. Патентознавство та ліцензування : навчальний посібник / Ю.О. Басова, Г. М. Кожушко, І. В. Шурдук. Полтава : ПУЕТ, 2019. 165 с. URL <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/8589>



УДК 631.372

ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ МАЛОГАБАРИТНИХ МЕХАНІЗМІВ У СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ МАШИНОБУДУВАННІ: ДОСВІД СТВОРЕННЯ РУЧНОЇ САДЖАЛКИ ДЛЯ ЧАСНИКУ

*Попович Н. М., здобувачка вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Сільськогосподарське машинобудування сьогодні відіграє ключову роль у забезпеченні продовольчої безпеки та підвищенні технологічного рівня аграрного виробництва. З огляду на зростання витрат на ресурси, дефіцит кваліфікованої робочої сили та необхідність оптимізації виробничих процесів, особливої актуальності набуває розроблення доступних і високоефективних машин для дрібних і середніх господарств. Попри інтенсивний розвиток технологій, значна частина фермерів продовжує використовувати застарілий парк техніки, що негативно позначається на продуктивності та рентабельності виробництва. Крім того, сучасні зразки складних машин є економічно недоступними для більшості дрібних виробників, що формує потребу в альтернативних рішеннях, адаптованих до умов дрібноконтурного землеробства [1-3].

Однією з ключових проблем залишається недостатній рівень механізації трудомістких операцій, зокрема у овочівництві, де точність, регулярність та одноманітність виконання технологічних процесів безпосередньо впливають на рівень урожайності. Це обумовлює необхідність створення техніки нового покоління – малогабаритної, універсальної, економічно доступної та конструктивно простої. Важливою перспективою є розроблення обладнання, що поєднує механічну надійність, адаптивність до різних ґрунтових умов і можливість експлуатації без спеціальної підготовки оператора.

Одним із прикладів такого підходу є проектування та виготовлення ручної механічної саджалки для часнику. Проведене дослідження продемонструвало, що навіть малопотужні механічні пристрої здатні суттєво підвищити ефективність робіт за рахунок механізації базових технологічних операцій. Конструкція саджалки поєднує функції відкриття борозни, дозованої подачі й точного

укладання зубків та подальшого загортання ґрунтом. Робочі органи (сошник, система ланцюгового розподілу, направляючий трубопровід і механізм загортання) забезпечують рівномірність висаджування та стабільність глибини. Завдяки механічному приводу від колеса ходу, подача насіння синхронізується з рухом оператора, що гарантує відповідність технологічним вимогам. Практичні випробування показали, що швидкість роботи становить близько 0,5 м/с. Це у кілька разів перевищує продуктивність ручної висадки та суттєво знижує витрати праці.

Розроблення таких малогабаритних пристроїв дає змогу розширити доступність механізації для малих господарств, водночас створюючи підґрунтя для розвитку локального машинобудування. Виробництво техніки з використанням місцевої сировини та простих конструктивних рішень сприяє зниженню собівартості та підвищує економічну конкурентоспроможність фермерів. Крім того, подібні машини можуть адаптуватися як до різних ґрунтових умов, так і до особливостей вирощування інших культур.

Таким чином, перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування полягають у створенні економічно доступних, енергоощадних і технологічно ефективних машин, які відповідають реальним потребам аграрного виробництва. Розроблення і впровадження простих механічних рішень, таких як ручна саджалка для часнику, демонструє значний потенціал технологічної модернізації навіть у тих сегментах, де застосування складних високовартісних машин є недоцільним. Саме такі інженерні розробки здатні забезпечити підвищення продуктивності, оптимізувати трудові ресурси та сприяти сталому розвитку аграрного сектору.

Список джерел посилання

1. Войтюк Д.Г. Практикум з теорії та розрахунку сільськогосподарських машин. Навчальний посібник. Київ: НУБіП України, 2022. 184 с.
2. Sharma D., Mukesh S. Farm Machinery Design Principles and Problems. New Delhi: Jain Brothers, 2021. 399 p.
3. Vetokhin, V., Popov, S., Ryzhkova, T., Negrebetskyi, I., Leshchenko, S., Amosov, V., Machok, Y., & Petrenko, D. (2024). Improving the soil bin for studying rotary tools taking into account the kinematic features of interaction with the soil. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/1 (132), 31 – 40.

УДК 621.313.333

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАСОСНИХ УСТАНОВОК СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ЗА РАХУНОК РЕГУЛЬОВАНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ

*Семенов А. О., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Горбань О. С., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Полтавський державний аграрний університет*

В умовах нестабільності енергоресурсів, а також необхідності раціонального використання природних ресурсів питання енергоефективності набуває значного значення для агропромислового комплексу [1]. Одними з найбільш енергоємних процесів, як відомо, у сільському господарстві залишаються системи водозабезпечення, які відіграють ключову роль [2]. Такі системи потребують значних витрат електроенергії для подачі, перекачування та очищення води. Це обумовлює необхідність розроблення і впровадження сучасних енергоощадних рішень, насамперед у частині вдосконалення насосного обладнання.

Насосні установки відіграють ключову роль при забезпеченні стабільності в роботі електротехнічних систем водопостачання. Від ефективності роботи такої системи залежить не лише безперервність подачі води, але й витрати енергоресурсів, а також надійність системи. У зв'язку з цим особливої уваги в цьому процесі відіграють автоматизовані системи керування та регульованого електроприводу, які дозволяють вдосконалити роботу насосних агрегатів до реальних змін навантаження. Такі системи забезпечують можливість автоматичного підтримання необхідного тиску в системі, зменшення втрат енергії при незначних навантаженнях і підвищити в цілому продуктивність системи.

Промислові підприємства, серед яких ПП «Полтавський ливарно-механічний завод», впроваджують методики оцінювання ефективності використання регульованих електроприводів. Зазначені методики враховують зміну частоти обертання насосного агрегату, ККД, споживання електроенергії та термін служби обладнання та його технічного обслуговування [3]. Відомо, що використання частотного

регулювання дає змогу не лише скоротити витрати енергії, а й зменшити механічне навантаження на систему водозабезпечення.

Оцінювання доцільності впровадження регульованого електроприводу є важливим етапом у процесі економічного підходу до модернізації систем водопостачання. При цьому враховуються як початкові затрати на обладнання, так і прогнозовані в майбутньому експлуатаційні витрати та очікувана економія електроенергії. Найвищі показники можна досягти за умови раціонального вибору параметрів регулювання – зокрема, контролю тиску у важливих точках водопровідної мережі, контролю рівня заповнення резервуарів та обов'язкової синхронізації роботи декількох насосних агрегатів [4].

Результати численних досліджень свідчать про те, що впровадження регульованих електроприводів у насосних системах дозволяє знизити обсяг спожитої води в середньому на 2–4%, а споживання електроенергії – на 5-18% у системах водопостачання. У деяких випадках, за рахунок оптимізації гідравлічних параметрів і модернізації трубопроводної частини, економія може сягати значно більшого відсотка 20-25%, а інколи і 35-40 %. Такі показники можливі лише при комплексному узгодженні параметрів насосного агрегату: заміна електродвигуна, підбір та вдосконалення робочого колеса.

Практичні результати експлуатації насосних систем із частотним регулюванням підтверджують, що максимального ефекту досягають за умови попереднього узгодження характеристик насоса з параметрами трубопроводу. Найефективнішими заходами є оптимізація конструкції робочого колеса, застосування двигунів із відповідною швидкістю обертання та удосконалення алгоритмів керування. Комплексний підхід, який поєднує технічне регулювання, діагностику та автоматичний контроль, дозволяє забезпечити стабільну, надійну й економічну роботу насосного обладнання [5].

Таким чином, застосування регульованих електроприводів у системах водопостачання та водовідведення агропромислового сектору є ефективним інженерним рішенням, яке враховує: зменшення енергоспоживання, підвищення надійності та продовження ресурсу насосних агрегатів. Досягнення високих показників енергоефективності можливе лише за умови комплексної оптимізації системи: від правильного вибору типу насоса і параметрів частотного перетворювача до створення автоматизованої системи керування, що забезпечує моніторинг, діагностику та адаптацію режимів роботи до реальних умов експлуатації.

Список джерел посилання

1. Аграрний сектор України на шляху до євро інтеграції: монографія / Авт. кол. Бетлій М. та ін.; за ред. О. М. Бородіної. Ужгород: ІВА, 2006. 496 с
2. Семенов А. О., Скрипник В. О., Харак Р. М., Супрович О. С. Обґрунтування раціональних параметрів електроприводів насосних агрегатів для систем агропромислового комплексу. Збірник наукових праць НУК, 2024, №3 (496). С. 80-86.
3. Насоси, агрегати [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://plmz.com.ua/ua/home-ua2/nasosi-agregati> - Полтавський ливарно-механічний завод. – Дата звернення: 07.03.2025.
4. Семенов А. О., Харак Р. М., Бичков Я. М., Скрипник В. О. Ефективність регульованого електроприводу в насосних установках водозабезпечення. Slovak international scientific journal. 2024. № 82. С. 23–27.
5. Семенов А.О., Семенова Н.В. Підвищення ефективності насосів для перекачування пульпи цукрових заводів з використанням експрес-діагностики. Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали V Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції (м. Полтава, 21-22 лютого 2023 р.). – Полтава: ПДАУ, 2023. – С. 153-157.

УДК 621.313.333

ОПТИМІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СИСТЕМ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОМИСЛОВОГО ЦЕХУ

*Семенов А. О., кандидат фізико-математичних. наук, доцент,¹
Скрипник В. О., доктор технічних наук, професор,¹
Семенова Н. В., начальник відділу маркетингу,²
Бибик С. А., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),¹
¹Полтавський державний аграрний університет,
²ПП «Полтавський ливарно-механічний завод»*

В умовах нестабільності енергоресурсів та зростання цін на електроенергію підвищення енергоефективності промислових споживачів є пріоритетом. Для агропромислового комплексу особливо енергоємними є системи водозабезпечення – подавання, перекачування та очищення води [1, 2]. Частотне регулювання

електроприводів насосних агрегатів та впровадження регульованих систем компенсації реактивної потужності дозволяють знизити як споживання активної енергії, так і операційні витрати, підвищити надійність та продовжити ресурс устаткування [3].

В роботі обґрунтовано техніко-економічні параметри впровадження регульованих електроприводів і регульованих конденсаторних установок у системах водопостачання агропромислових підприємств.

За вихідними даними сумарна встановлена потужність споживачів цеху становить 574,2 кВт.

Для живлення цеху рекомендовано двотрансформаторну КТП типу БКТПу з двома трансформаторами по 250 кВА, що забезпечує необхідний запас потужності та підвищену надійність. Вибір кабельних ліній проведено за допустимим струмом і перевіркою по нагріву: приклад — для СЩ-1 обрано АВВГ $3 \times 25 + 1 \times 16$ ($I_d = 95$ А), що задовольняє умови по I_P та $I_{ав}$.

Для компенсації реактивної потужності розглянуто два варіанти: нерегульована УКЗ-0,4-180УЗ та регульована УКМ58-0,4-180-30 УЗ. Регульована установка має цифровий мікропроцесорний регулятор реактивної потужності, що дозволяє підтримувати задане $\cos\phi$, а також відключати ступені при перевантаженнях. Техніко-економічне порівняння включає розрахунок питомих втрат активної потужності в конденсаторних батареях, додаткових втрат у силових трансформаторах та дисконтованих витрат капіталу і експлуатації. За результатами розрахунків варіант із регульованою установкою виявився економічно доцільнішим: зниження експлуатаційних витрат та зменшення втрат у трансформаторах компенсують вищі капітальні вкладення на встановлення регульованої системи.

Впровадження частотних перетворювачів у насосних агрегатах дозволяє [4]: забезпечувати автоматичне підтримання необхідного тиску в мережі; зменшувати споживання електроенергії при неповному навантаженні за рахунок кубічної залежності потужності від частоти/швидкості (для насоса); знижувати механічні навантаження під час пуску та регулювання, подовжуючи ресурс механічних компонентів; реалізувати синхронну роботу декількох насосів та алгоритми оптимального розподілу навантаження.

Типові значення економії електроенергії при впровадженні частотного регулювання в насосних системах складають 5–18 %, а в разі комплексної гідравлічної оптимізації – до 20–40 %.

Отже, комплексна модернізація системи водопостачання – поєднання частотного регулювання, регульованої компенсації реактивної потужності та оптимізації гідравлічної частини є ефективним заходом для зниження енергоспоживання та підвищення ефективності.

Список джерел посилання

1. Семенов А.О., Скрипник В.О., Харак Р.М., Супрович О.С. Обґрунтування раціональних параметрів електроприводів насосних агрегатів для систем АПК. Зб. наук. праць НУК, 2024, №3 (496). С. 80-86.

2. Semenov A., Kharak R., Bychkov Y., Skrypnyk V. The efficiency of the controlled electric drive in water supply pump installations. *Slovak International Scientific Journal*. 2024. № 82. P. 23–27.

3. Семенов А.О., Семенова Н.В. Підвищення ефективності насосів для перекачування пульпи цукрових заводів з використанням експрес-діагностики. Проблеми та перспективи розвитку сільськогосподарського машинобудування: матеріали V Всеукр. наук.-практ. Інтернет-конференції (м. Полтава, 21-22 лютого 2023 р.). – Полтава: ПДАУ, 2023. – С. 153-157.

4. Семенов А., Семенова Н. Раціональні режими роботи насосних електроприводів: дослідження ефективності частотного та комбінованого регулювання. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2025. Випуск 4(153). С. 402-408.

УДК 621.316.925:621.311.1

ЗАХИСТ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ СЕРЕДНЬОЇ НАПРУГИ ВІД УРАЖЕННЯ БЛИСКАВКОЮ

*Сердюк В. О., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Семенов А. О., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Удар блискавки вважається однією з найбільш загрозливих атмосферних подій, що суттєво позначається на стабільності функціонування електромереж. Функціонування електромережі залежить від ряду факторів, що характеризуються втратами навантаження [1]. Активність розрядів блискавки характеризується

екстремальними показниками як струму, так і електричної напруги, що несе потенціал руйнування компонентів повітряних ЛЕП, провокування ізоляційних пробів, утворення коротких замикань та, як наслідок, аварійних вимикань. Особливу тривогу становлять перенапруги імпульсного характеру, що генеруються не лише при безпосередньому попаданні блискавки, а й внаслідок індукційного ефекту грозових розрядів у зоні, прилеглої до траси лінії. Лінії електропередачі середньої напруги (в діапазоні 6–35 кВ) демонструють найбільшу вразливість. Це зумовлено їхньою значною довжиною, розташуванням та їх прокладенням неподалік житлових зон чи промислових об'єктів [2].

Аби зменшити ймовірність ураження об'єктів розрядом блискавки, використовують цілий арсенал технічних рішень, спрямованих на грозозахист. До найперших у переліку слід віднести блискавковідводи й захисні троси, які беруть на себе пряме попадання розряду, спрямовуючи його потужний струм у землю, тим самим уберігаючи критичні складові лінії від прямого контакту з блискавкою. Окрім того, монтуються пристрої для обмеження високих напруг та розрядники, котрі активуються у разі виникнення короточасних імпульсів, захищаючи устаткування на підстанціях та самі опори. Не менш суттєве значення має якісно виконана система заземлення, адже саме вона забезпечує безпечне скерування енергії блискавки у земну кору. Комплексне застосування цих практик дає змогу істотно зменшити ризик пошкодження ліній електропередачі та гарантувати їхню стабільну функціональність у період грозової активності [3].

У процесі проектування систем грозозахисту важливо правильно визначити висоту та розташування блискавковідводу. Наприклад, стрижневий блискавковідвід призначений для захисту будівлі підстанції шириною 9 м, довжиною 18 м, висотою 6 м. Необхідно визначити висоту та місце розташування блискавковідводу з урахуванням його допустимого наближення до об'єкта захисту, якщо відповідно до вказівок щодо захисту від перенапруг відомі: струм блискавки $I_m = 80$ кА, індуктивність блискавковідводу $L_o = 1,2$ мкГн/м й усереднена крутизна фронту косокутної хвилі струму 32 кА/мксек, а також опір заземлення блискавковідводу в імпульсному режимі R_z .

Потенціал на блискавковідвід у момент розряду на рівні висоти об'єкта:

$$U = I_m R_z + L_o a h_x = 1830 \text{ кВ.}$$

Прийнявши рекомендовану допустиму імпульсну напруженість за повітрям $E_B = 500$ кВ/м, визначимо віддалення блискавковідводу від об'єкта:

$$S_B = \frac{U}{E_B} = 3.66 \text{ м.}$$

Радіус захисної зони визначиться виразом:

$$\sqrt{(S_B + a)^2 + \left(\frac{b}{2}\right)^2} = 16.88 \text{ м.}$$

У результаті проведених розрахунків визначено допустиму відстань між блискавковідводом та об'єктом, що становить $S_B = 3,66$ м, а радіус захисної зони 16.9 м. Це означає, що за обраних параметрів блискавковідвід забезпечує необхідний рівень захисту будівлі підстанції від прямого удару блискавки та імпульсних перенапруг. Отримані значення підтверджують відповідність конструкції блискавковідводу вимогам до безпечної експлуатації повітряних ліній середньої напруги під час грозової діяльності [4].

Захист повітряних ліній середньої напруги від ураження блискавкою є важливою складовою забезпечення стабільної роботи електричних мереж. Грозові розряди можуть спричиняти перенапруги та пошкодження елементів лінії, що призводить до порушення електропостачання та матеріальних втрат. Тому при проєктуванні та експлуатації повітряних ліній необхідно враховувати можливий вплив блискавки та передбачати заходи, які мінімізують її наслідки. Виконання відповідних розрахунків, правильне визначення параметрів і розташування елементів грозозахисту дає змогу створити надійну систему, яка забезпечує безперервність і безпечність роботи електричної мережі навіть в умовах інтенсивної грозової активності [4].

Список джерел посилання

1. Семенов, А. О., Харак Р. М., Арендаренко В. М., Бичков Я. М. Розрахунок втрат електроенергії в розподільчих мережах при електропостачанні з використанням масляних та вакуумних вимикачів. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність, вип. 1 (8), Липень 2024, с. 105-10, doi:10.20998/2224-0349.2024.01.13.

2. Техніка високих напруг: Курс лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: В. Б. Абрамов, В. О. Бржезицький, Я. О. Гаран, О. Р. Проценко. Електронні текстові дані (1 файл: 8,95 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 345с.

3. Розрахунок втрат потужності на корону та гірлянд ізоляторів на високовольтних лініях електропередачі. Комплексна розрахункова робота : методичні вказівки з дисципліни «Техніка високих напруг» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укл. : О. О. Вакуленко. Тернопіль : ТНТУ, 2023. 36 с.

4. Войтюк Ю. П., Писаренко Д. Г. Монтаж пристроїв блискавкозахисту будівель та споруд : навч. посіб. / Ю. П. Войтюк, Д. Г. Писаренко. Вінниця : ВНТУ, 2021. 94 с. [Електронний ресурс]. <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/34700/91959.pdf>

УДК 665.6:66.08:504.064.3(4-015)

РЕГЕНЕРАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ: ДОСВІД ЄВРОПЕЙСЬКОГО СОЮЗУ

*Хмеленко А. М., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Полтавський державний аграрний університет*

Україна, реалізуючи конституційно закріплений стратегічний курс на набуття повноправного членства в Європейському Союзі (ЄС), продовжує реалізовувати реформи у різних сферах державного життя та гармонізувати законодавство. Позитивним буде аналіз особливостей здійснення регенерації відпрацьованих моторних олив (ВМО) у країнах-членах ЄС та врахування їх досвіду.

Директива 75/439/ЄС 50 років тому відкрила шлях до гармонізованого управління відпрацьованими оливами по всьому ЄС. Сьогодні Рамкова директива про відходи 2008/98/ЄС, змінена Директивою 2018/851, регулює управління відпрацьованими оливами, встановлюючи керівні принципи для захисту довкілля та здоров'я людини, а також для сприяння ресурсоефективності шляхом заохочення переробки відпрацьованих олив [1]. Досвід ЄС демонструє пріоритет регенерації ВМО як найбільш екологічно та соціально

відповідального шляху поводження з таким небезпечним відходом, що прямо визначено Директивою.

Наразі в ЄС приблизно 61% зібраних відпрацьованих масел регенерується в базові оливи, 24% перероблено для виробництва палива, 11% використовується для рекуперації енергії на цементних, вапняних, сталеварних та електроенергетичних заводах [2, с. 22]. Регенерація сприяє циркулярній економіці, оскільки базова олива теоретично може бути регенована незлічену кількість разів [3, с. 1], а перенаправлення однієї тонни ВМО з виробництва палива на регенерацію призводить до чистої економії суспільних витрат у розмірі 55,8€ [3, с. 9].

Загалом існує значна неоднорідність між державами-членами ЄС щодо показників регенерації ВМО: 7 країн мають показники вище 90%, тоді як у 10 країнах регенерується 10% або й менше [3, с. 1]. До країн, які досягли або наблизилися до 100% регенерації від зібраного обсягу ВМО належать наступні: Італія (98%), Данія, Люксембург і Греція (100%), Бельгія (до 96%), Нідерланди (94%), Фінляндія (91%) [2]. Слід зазначити, що хоча деякі країни звітують про 100% показник регенерації, це може бути наслідком особливостей обліку, оскільки деякі країни звітують про початкові осад та воду окремо від сухої ВМО або звітують лише про регенерацію ВМО достатньої якості.

Не дивлячись на те, що Німеччина має меншу частку регенерації зібраної ВМО (62%), вона є абсолютним лідером за загальною потужністю регенеруючих установок в ЄС. Вона має найвищу потужність (близько 0,385 млн тонн вхідної ВМО, або 26% від загальної потужності ЄС-28) [2, с.61] та є місцем розташування 6 з 27 заводів з регенерації ВМО [3, с.10]. Такі німецькі компанії як Avista Oil Group та Puraglobe, є європейськими піонерами з передових технологій гідроочищення і виробництва високоякісних базових олив (Group III RRBO), які експортуються в інші країни ЄС.

Для підвищення частки регенерації в ЄС розглядалися та впроваджувалися різні інструменти. Зокрема, в 11 державах-членах застосовуються схеми розширеної відповідальності виробника, які покладають на виробників або імпортерів мастильних матеріалів відповідальність за збір, транспортування та переробку ВМО, часто через спеціалізовані консорціуми. Італійський Національний консорціум з ВМО є яскравим прикладом, де виробники мастильних матеріалів зобов'язані робити внески до фонду, що використовується для фінансування збору та переробки відпрацьованої оливи.

Консорціум забезпечує безкоштовний збір ВМО від їхніх утворювачів, що є ключовим фактором для досягнення високих показників збору [2, с.116]. Подібні моделі, засновані на стимулюванні, існують в Іспанії, Португалії та Франції, де субсидії або внески допомагають покрити витрати на збір та переробку. Португалія впровадила грошові бонуси/знижки на збори для виробників мастильних матеріалів, які випускають на ринок екологічно чисті оливи, включаючи оливи, що містять регенеровані базові компоненти [2, с.127].

А такі країни як Німеччина та Велика Британія (на період дослідження входила до ЄС), більше покладаються на ринкові сили та стандарти, ніж на прямі субсидії. У них заохочуються інвестиції у високоякісні установки для переробки за допомогою стандартів скорочення викидів та енергозбереження [4, с. 7]. Хоча встановлення амбітних цілей на рівні ЄС (наприклад, 70 (85%) регенерації до 2030 року) дозволило б уникнути суспільних витрат, очікувані чисті вигоди, ймовірно, будуть доволі низькими, якщо врахувати адміністративні витрати, необхідні для запровадження регуляторних заходів [3, с. 3].

Деякі країни ЄС, такі як Данія, Греція, Італія та Португалія, обмежують або забороняють транскордонне перевезення ВМО на спалювання/співспалювання, якщо регенерація технічно можлива в країні. Цей механізм допомагає забезпечити пріоритет регенерації [2].

Досвід ЄС показує, що існує кореляція між наявністю значущих цілей регенерації на національному рівні та високими фактичними показниками регенерації. Наприклад, Греція встановила ціль збору 70% та регенерації 80% зібраної ВМО [2, с.124]. Португалія має цілі рециклінгу 75% та регенерації 50% зібраної ВМО [2, с.134].

Зауважимо, що в Україні, як і в ЄС, на законодавчому рівні підтримується принцип polluter pays (забруднювач платить), за яким виробники та імпортери олив зобов'язані виконувати певні дії щодо відпрацьованих мастил, зокрема, збирання, перевезення, зберігання, перероблення, утилізацію тощо. Також для суб'єктів господарювання встановлені норми збирання відпрацьованих олив (на 2025-2029 роки – 60%, а на 2030-2035 роки – 70% загального обсягу мастил) [5].

Також ЄС запроваджує новий формат звітності для гармонізованого збору даних про ВМО, що надходять на ринок, та про їхнє поводження. Цей досвід підкреслює необхідність розробки єдиної методології для розрахунку потенційно зібраної кількості ВМО; надання єдиних інструкцій для переведення об'єму ВМО в масу (в ЄС

коефіцієнт конверсії становить $0,9 \text{ т/м}^3$) для забезпечення достовірності звітності, а також створення ефективної інформаційної системи (подібно до польської або грецької системи моніторингу) для відстеження потоків ВМО та запобігання нелегальним діям [2].

В ЄС оцінюється, що близько 18% потенційно зібраних ВМО втрачається через нелегальне спалювання в малих обігрівачах, незаконне перетворення на паливо та обмежене пряме скидання у навколишнє середовище. У Греції, наприклад, відзначали проблему незаконного збору через комерційну та теплотворну цінність ВМО, що призводить до їх втрати для регенерації [2, с.51].

Українські ж реалії у сфері регенерації ВМО наразі не оптимістичні. Відсоток правильно утилізованих мастил становить не більше 20%. За деякими даними в Україні спалюється не менше 40% від всього відпрацьованого мастила як дешева альтернатива пічному паливу. А спалювання неочищених олив має надзвичайно негативний вплив на довкілля [6].

Відповідно до плану заходів з реалізації Національного плану управління відходами на 2025-2033 роки до 2030 року передбачено створення інфраструктури для збирання, зберігання, підготовки до повторного використання, регенерації, іншого відновлення відходів мастил (олив). Також в документі зазначено, що існує близько 300 накопичувачів небезпечних відходів, що становлять екологічну небезпеку через побудову без належного технічного захисту. Обладнані сховища та установки для регенерації мають лише окремі суб'єкти господарювання [7].

Отже, досвід країн ЄС може та повинен бути врахований при процедурах поводження з таким небезпечним відходом як ВМО. Зокрема, корисним було б запровадження схем фінансового стимулювання, належного моніторингу, дотримання пріоритету регенерації над використанням ВМО як палива, подолання тіньового ринку тощо.

Список джерел посилання

1. Environmental and economic assessment of waste lubricant oil management in the EU / P. García-Gutiérrez, D. Tonini, D. Klenert, R. Marschinski, H. G.M. Saveyn. *Journal of Cleaner Production*. 2025. № 492. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.144878>.

2. Stahl H., Merz C. Study to support the Commission in gathering structured information and defining of reporting obligations on waste oils and other hazardous waste. Final Report. Contract Number

07.0201/2018/789021/ENV.B.3. Freiburg : Oeko-Institut e.V. 2020. 289 p.
URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/73a728bc-72f5-11ea-a07e-01aa75ed71a1/language-en>

3. The economics of waste oil recycling in the EU / D. Klenert, P. García-Gutiérrez, D. Tonini, H. Saveyn, R. Marschinski. *Journal of Environmental Economics and Policy*. 2025. Vol. 2, № 1. P. 1-22. DOI: <https://doi.org/10.1080/21606544.2024.2318385>

4. A Review on Global Recovery Policy of Used Lubricating Oils and Their Effects on the Environment and Circular Economy / C. Cabrera-Escobar, J. Moreno-Gutiérrez, R. Rodríguez-Moreno, E. Pájaro-Velázquez, F. Calderay-Cayetano, V. Durán-Grados. *Environments*. 2025. №12, 135. P. 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/environments12050135>

5. Деякі питання збирання, перевезення, зберігання, оброблення (перероблення), утилізації та/або знешкодження відпрацьованих мастил (олив) : Постанова Кабінету Міністрів України від 17.12.2012 р. № 1221. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1221-2012-%D0%BF#Text> (дата звернення : 22.11.2025).

6. Європейські інструменти: секрети ефективного регулювання переробки мастил. 08.08.2019. URL: <https://autoexpert-consulting.com/stati/masla-smazki/11082-yeenyoy-yoins-yonuns-nyenusei-nicyuebya-nngus-ibyosc.html> (дата звернення : 22.11.2025).

7. Про затвердження Національного плану управління відходами до 2033 року та визнання такими, що втратили чинність, деяких актів : Розпорядження Кабінету Міністрів України від 27.12.2024 р. № 1353-р URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1353-2024-%D1%80#Text> (дата звернення : 22.11.2025).

УДК 631.3

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І РЕЖИМІВ РОБОТИ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ДИСКОВИХ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

Тесля А. А., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Падалка В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет

Одним із найважливіших структурних елементів будь-якої технології обробітку сільськогосподарської культури є обробіток ґрунту, на частку якого припадає до 30 % від загальних витрат енергії

при обробітку сільськогосподарських культур, тому розробка нових та вдосконалення вже існуючих конструктивних рішень є актуальним завданням. Процес обробітку ґрунту спрямований на створення такої його структури, щоб умови зростання та розвитку культурних рослин були найбільш сприятливими.

Обробку ґрунту проводять різними сільськогосподарськими машинами та знаряддями, серед яких можна виділити дискові ротаційні як одні з найбільш застосовуваних у всіх технологіях вирощування сільськогосподарських культур. Відповідно до рекомендованих і перспективним технологіям обробітку основних сільськогосподарських культур частку ґрунтообробних машин із дисковими робочими органами припадає 10-20%, а деяких технологіях до 35% від загального обсягу технологічних операцій із обробітку ґрунту [1, 2].

Обробка ґрунту дисковими ротаційними знаряддями проводиться при його луценні та дискуванні, при цьому завдання зазначених технологічних операцій мають різний характер. Луцення, як правило, виробляють після збирання попередньої озимої культури, а основним завданням обробки ґрунту у відповідний період є збереження вологи, яке досягається шляхом створення вологозатримуючого шару з ґрунту з перемішаними подрібненими пожнивними залишками. Дискування застосовують для оброблення ґрунту після його оранки, як парової або основної обробки ґрунту, а також іноді для передпосівної обробки [3].

Отже, ґрунтообробні знаряддя для дискування ґрунту можна використовувати для луцення тільки у разі їх достатнього ступеня кришення пласта та його перемішування з ґрунтом. З іншого боку, дисковими луцильниками можна проводити дискування лише у разі обробітку ґрунту на достатню глибину. Це ускладняється тим, що дискування ґрунту як основний обробіток ґрунту, як правило, проводять після збирання довгостеблових просапних культур перед посівом озимих колосових, що характеризує роботу дискових борін в умовах великої кількості пожнивних залишків і часто з ґрунтом високої твердості. Зазначені факти роблять досить скрутним використання дискових луцильників для дискування ґрунту через їх низьку здатність, що заглиблює. Окремі виробники ґрунтообробних знарядь передбачають можливість розміщення додаткових баластових вантажів на рамі луцильників для кращого заглиблення робочих органів, проте діаметр робочих органів, як правило, не перевищує 5...10 мм, що ставить під сумнів можливість обробки ґрунту на

необхідну глибину. Отже, найбільш перспективним напрямом удосконалення дискових знарядь для обробки ґрунту є підвищення ступеня кришення та рівномірності перемішування ґрунту та поживних залишків робочим органами дискових борін, а також зниження енергоємності процесу.

Проаналізувавши різні технічні рішення вдосконалення процесу роботи дискових ґрунтообробних знарядь можна дійти невтішного висновку, що з підвищення ступеня кришення ґрунту необхідно збільшити ступінь на неї шляхом стиснення і надання більшої кінетичної енергії. Зі всіх розглянутих технічно рішень можна виділити такі основні шляхи підвищення ступеня кришення пласта: зміна траєкторії руху ґрунтового пласта та передання йому більшої швидкості, і відтак більшої кінетичної енергії без розкиду ґрунту за межі зони ґрунтообробки; підвищення питомого тиску пласта; підвищення інтенсивності різання пласта; створення робочих органах вібрації.

До конструктивно-технологічних параметрів дискового робочого органу, що мають найбільший вплив на якість обробки ґрунту, відносяться діаметр диска, радіус кривизни, кут атаки, кут установки диска до вертикалі та поступальна швидкість руху. Перспективні технічні рішення для обробки ґрунту дисковими робочими органами за рахунок синхронної або незалежної зміни кутів установки робочих органів, використання різних форм робочої поверхні і додаткових пристосувань дозволяють збільшити ступінь впливу шляхом її стиснення, змінити траєкторію руху пласта і підвищити інтенсивність його різання, проте також не дозволяють отримати необхідні показники якості роботи.

Форма поверхні дискового робочого органу з радіусом кривизни, яка змінюється, утворюється шляхом обертання плоскої кривої ділянки спіралі Архімеда навколо осі обертання самого диска. При цьому ділянка спіралі орієнтована таким чином, що максимальний радіус кривизни буде у кромки леза диска, а мінімальний радіус збігається з віссю його обертання. Спіраль Архімеда є плоскою кривою, яка утворюється при рівномірному русі точки вздовж променя з початком в центрі координат і одночасним рівномірним рухом променя навколо центру координат.

Основною метою експериментальних досліджень є перевірка отриманих в результаті проведення теоретичних досліджень положень і висновків, а також отримання порівняльних агротехнічних

характеристик та енергетичних показників роботи дискових робочих органів із змінним радіусом кривизни.

Відповідно до поставленої метою програма експериментальних досліджень складається з трьох основних етапів: попереднього етапу, етапу проведення польового експерименту та етапу обробки отриманих результатів та формування висновків.

За результатами проведених експериментальних досліджень отримано адекватне рівняння регресії питомої енергоємності обробки ґрунту дисковими робочими органами з радіусом кривизни, на підставі аналізу якої, визначено, що для даних ґрунтово-кліматичних умов при куті атаки 18,1 град, поступальної швидкості руху 9,7 та інтенсивності зміни кривизни $\Delta\varphi = 935,6$ мм/об.

Розраховані показники економічної ефективності обробки ґрунту дозволяють зробити висновок, що при роботі з дисковими робочими органами з радіусом кривизни, що змінюється, сукупні витрати коштів знижуються на 82 грн./га, додаткові капіталовкладення окупаються за 2 роки, а верхня межа ціни нової техніки підвищиться в порівнянні з базовою.

Список джерел посилання

1. Падалка, В. В. (2015). From hard to simple using «shyshaky technologies». Scientific Progress & Innovations, (1-2), 141–144. <https://doi.org/10.31210/visnyk2015.1-2.32>

2. Padalka, V., Burlaka, O., Rozhko, I., Yatsenko, Y., & Chumak, M. (2023). Supply of tractors to business subjects in Poltava region. Problems and perspectives. Scientific Progress & Innovations, 26(3), 133–139. <https://doi.org/10.31210/spi2023.26.03.23>

3. Л. Ф. Бабицький, В. В. Падалка, С. В. Ляшенко, Economic efficiency of industrial introduction of a torsion and percussive cultivator of soil, Scientific Progress & Innovations: No. 1 (2012): Bulletin of poltava state agrarian academy



УДК 656.13:658.7

РОЗГЛЯД ПИТАННЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАТЕРІАЛЬНО-ТЕХНІЧНИХ РЕСУРСІВ В АВТОМОБІЛЬНОМУ ТРАНСПОРТІ

*Шевченко І. О., кандидат технічних наук, доцент,
Гончаренко О. О., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Державний біотехнологічний університет*

Автомобілі у всьому світі транспортують найбільшу кількість пасажирів і об'ємів вантажів, виконують різні виробничі функції зі встановленим на них спеціальним обладнанням, обслуговують побут, культуру, відпочинок, і є невідокремленою частиною сучасної цивілізації.

В свою чергу автомобілі систематично потребують спеціальних обслуговувань: прибиранню-миттю, очищенню, заправлення паливом, оливою та іншими експлуатаційними матеріалами, контролі їх технічного стану, проведення ряду профілактичних і ремонтно-відновних робіт, що мають на меті попередити появи передчасних відмов і несправностей, а також відновити втрачену працездатність їх агрегатів, вузлів, деталей і систем.

Проте проведення серйозних робіт по обслуговуванню автомобільної техніки і відновлення втраченої працездатності їх агрегатів, вузлів, деталей і систем, що вимагають використання засобів технічного контролю, спеціального обладнання та інструментів, виконуються на спеціальних автообслуговуючих підприємствах і майстернях, силами спеціально підготовлених працівників. Підприємницька система головним призначенням якої, є надання всіляких, комплексних послуг автомобільному транспорту в загальнодоступній формі, є і автомобільний сервіс.

Слово «Сервіс» в перекладі з англійського «SERVICE» означає послуга, надання послуги. Сучасний автосервіс в багатьох країнах світу має в розпорядженні широко розгалужену і добре налагоджену мережу підприємств, як по обслуговуванню автомобілів, так і по торгівлі запасними частинами і матеріалами до них, а також їх зберіганню.

За рівнем автомобілізації Україна займає 71 позицію серед всіх країн світу (245 автомобілів на 1000 жителів) [1]. Зараз в Україні парк легкових і комерційних авто становить 10,5 мільйона. Щоб досягти

рівня автомобілезації, наприклад, Польщі, цей показник має бути 23 мільйони. Один із всесвітніх лідерів цього рейтингу – США: там на тисячу людей становить 800 автомобілів.

На сьогодні в економічній ситуації України, дистрибуційні системи вимагають переглянути методи постачання запасних частин (ЗЧ) на станції технічного обслуговування (СТО) для забезпечення належного рівня працездатності транспортних засобів (ТЗ).

Конкурентоспроможність фірми багато в чому визначається рівнем розвитку автосервісу. Якісний автосервіс виключає будь-які затримки із забезпеченням запасними частинами. З погляду споживача наявність запасних частин означає заміну в терміни, що його задовольняють. Складність організації виробництва та управління запасами запчастин обумовлена такими факторами[2,3]:

- численною номенклатурою запасних частин за кожною моделлю автомобіля (на деяких складах номенклатура становить понад 120 тисяч найменувань);

- великою кількістю моделей і модифікацій автомобілів, що знаходяться в експлуатації (у країнах з розвинутою автомобільною промисловістю існують автосервісні фірми, які обслуговують всі моделі та марки автомобілів.);

- порівняно великим терміном експлуатації автомобілів (від початку випуску даної моделі автомобіля до масового виходу автомобілів з експлуатації проходить 20 - 35 років);

- великою кількістю марок та моделей автомобілів, які обслуговуються деякими СТО або фірмами;

- частою зміною моделей та модифікацій автомобілів; складністю в отриманні інформації про надійність автомобілів та різними значеннями їх показників у різних експлуатаційних умовах;

- невизначеністю факторів інтенсивності експлуатації автомобілів;

- чисельністю постачальників запасних частин;

- великою кількістю точок використання запасних частин різної номенклатури та інтенсивністю їх використання;

- сезонною чи іншою нерівномірністю у потребах у запасних частинах.

Очевидно, що за таких умов забезпечити наявність необхідних запасних частин та експлуатаційних матеріалів на станціях технічного обслуговування автомобілів (СТОА) у потрібний момент та у потрібній кількості, досить складно.

Автомобільний транспорт є великим споживачем матеріальних ресурсів, останні можна розділити на наступні групи:

- Запасні частини; автомобіль складається з кількох тисяч різних деталей, що в процесі експлуатації зношуються з різним терміном експлуатації. При ремонті для їх заміни використовуються нові або відновлені деталі, вузли та агрегати, які називаються запасними частинами. Запасні частини поділяються на механічні деталі, деталі та вузли паливної апаратури, деталі та вузли електрообладнання та приладів, підшипники кочення; вироби зі скла, гуми, азбесту, повсті та текстилю, пробки, пластмаси, картону та паперу. На їхню частку припадає приблизно 70% всіх виробів та матеріалів, що споживаються автомобільним транспортом;

- Автомобільні шини та акумулятори. У країні налічується більше сотні моделей шин та камер для легкових та вантажних автомобілів, автобусів та спецтехніки. Номенклатура акумуляторів, що використовуються на автомобілях вітчизняного та іноземного виробництва, налічує більше ніж 100 найменувань.

- Паливно-мастильні матеріали. Діючий автомобільний парк використовує понад 100 паливно-мастильних матеріалів (ПММ): бензини, дизельне паливо, газове паливо, моторні оливи, трансмісійні оливи, пластичні матеріали мащення, оливи для гідравлічних систем;

- Технічні рідини. Залежно від призначення поділяються на охолоджувальні, гальмівні, амортизаторні та включають більше 30 найменувань;

- Лакофарбові матеріали. Для підтримки належного зовнішнього стану автомобілів та захисту металевих поверхонь від корозії застосовуються різні лакофарбові матеріали (лаки, фарби, ґрунтовки, шпаклівки, розчинники і т.і.), яких налічується понад 100 найменувань як вітчизняного виробництва, так і тих, що надходять з-за кордону;

- Технологічне встаткування. Це підйомно-оглядове, мастильно-заправне, діагностичне та інше обладнання, що включає більше 2 0 0 найменувань;

- Матеріали та вироби для господарських потреб. Їхня номенклатура включає в себе метали, ріжучий та вимірювальний інструменти, електротехнічні матеріали, хімікати, різні будівельні матеріали, спецодяг для персоналу, меблі, комп'ютери, оргтехніку та багато іншого.

Таким чином, для забезпечення безперебійної роботи підприємств автосервісу необхідно мати кілька тисяч найменувань різноманітних

виробів та матеріалів. Насамперед це стосується запасних частин, номенклатура яких превалює. У зв'язку з цим питання із забезпечення СТОА запасними частинами, необхідно розглядати більш ретельно та комплексно, з урахуванням особливостей марок автомобілів.

Працівникам МТЗ необхідно завчасно визначати їхню потребу, у потрібній кількості замовляти, вчасно проводити закупівлю та забезпечити відповідне зберігання. Саме до цього зводяться основні завдання МТЗ на підприємствах автосервісу.

Список джерел посилання

1. Список країн за кількістю автомобілів на 1000 осіб.
<https://surl.li/npqbwf>
2. Тищенко С. Ю., Сергійчук А. А., Аулін В. В., Гриньків А. В. Методи визначення потреб підприємств автосервісу в запасних частинах та розробка методики їх впливу на загальну працездатність автомобілів. Центральнотехнічний науковий вісник. Технічні науки. 2025. Вип. 11(42), ч. I. С. 243-257.
3. Музичук В. І., Анісімов В. Ф. М 18 Організація робіт підприємств технічного обслуговування. Навчальний посібник. Вінниця: ФОП Горбачук І.П., 2012. 240 с.

УДК 658.5

АДИТИВНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЇХ ПРИДАТНІСТЬ ДО ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АГРОМАШИН

*Калініченко В. Є., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Дудник В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Швидке зношування деталей сільськогосподарських машин, що працюють в умовах абразивного впливу, ударних навантажень і корозійно-активного середовища, спричиняє значні простой і витрати на їх ремонт [1]. Традиційні методи відновлення (наплавлення, напилення, втуління, металізація, гальванічне покриття, клейове з'єднання) не завжди забезпечують необхідну точність геометрії, повторюваність властивостей або економічну ефективність для великогабаритних та індивідуальних деталей. Адитивні технології (адитивне виробництво, зокрема DMD (пряме металеве осадження) /

LMD (лазерне металеве осадження), WAAM (3D друк із застосуванням точного позиціонування дугового зварювання), cold spray (технологія, за якої дрібні металеві частинки розганяються до надзвукової швидкості за допомогою стиснутого газу та осідають на поверхні, утворюючи твердий шар), PBF (Powder Bed Fusion – плавлення шару за шаром), FFF (Fused Filament Fabrication – пошарове нанесення розплавленої пластикової нитки) відкривають можливість керовано нарощувати матеріал лише в зонах зношування, поєднувати різні матеріали в одному виробі, скорочувати цикл ремонту.

Для відновлення масивних і середньогабаритних деталей найбільш популярні процеси сімейства Directed Energy Deposition (DED) метод, який створює об'єкти, сплавляючи матеріал лазерним наплавленням порошком / дротом (LMD/DED-L).

DED використовує сфокусоване джерело енергії (лазер, електронний промінь або плазмову дугу) для плавлення матеріалу під час його осадження, зазвичай через сопло [2]. Це ефективно для ремонту компонентів з додаванням елементів до існуючих деталей або створення великомасштабних металевих деталей.

Найбільш поширені процеси для відновлення деталей з застосуванням адитивних технологій [3]:

LP-DED – наплавлення порошком, слугує для відновлення валів, посадкових поверхонь, кромek робочих органів;

LW-DED – лазерне наплавлення, використовується для прямого відновлення великих площ та об'ємів (вали, фланці);

L-PBF – доречно задіювати для друку ремонтних вставок або сегментів із подальшим зварюванням;

EB-PBF – електронний промінь, що не застосовується для ремонту, але можливий до застосування у поодиноких / рідкісних випадках.

Серед запропонованих процесів пріоритетними є LP-DED та LW-DED. Також використовують дугове наплавлення дротом (WAAM), електронно-променеве наплавлення у вакуумі та холодне газодинамічне напилення (cold spray) без плавлення матеріалу. Powder Bed Fusion (PBF) використовують переважно для виготовлення вставок, ремонтних вставок або дрібних елементів із подальшим припасуванням і збиранням. Технології FFF/BJT доцільні для виготовлення оснастки, шаблонів та допоміжних елементів.

Порівняльні переваги для ремонту [4]:

Directed Energy Deposition (DED) / WAAM – досить висока

продуктивність під час відновлення, здатність локального легування і моделювання шарів, хороша придатність до валів, фланців, зубців коліс, посадкових поверхонь. Обмеження – температура плавлення і деформації, потреба у обробці;

LP-DED – з плюсів можливість локального нарощування, контроль мікроструктури та здатність до створення градієнтних шарів. Але водночас обладнання значно дорожче та присутній ризик деформації;

LW-DED – висока продуктивність, низька пористість та дешевші матеріали. Гірша деталізація з наявними обмеженнями до роботи з певними матеріалами;

Cold spray – низький тепловий вплив, можливість роботи з чавунами та алюмінієвими сплавами без зон термічного впливу, добре для корозійностійких та зносостійких покриттів і ремонту корпусів з тонкостінних матеріалів. Але при наявному обмеженні – адгезія на гладких поверхнях, складність формування складної геометрії;

Powder Bed Fusion (PBF) – найбільша точність при виготовленні ремонтних вставок або нових деталей, але присутні обмеження за габаритами заготовок й економікою при багатосерійному відновленні.

В таблиці 1 представлено порівняльні функції різних технологічних платформ адитивного виробництва.

Таблиця 1 – Порівняльні функції різних технологічних платформ адитивного виробництва

Технологія	DED	LP-DED	LW-DED	WAAM	Cold Spray	PBF
1	2	3	4	5	6	7
Сировина	Гранули або дріт	Гранули	Дріт	Дріт	Гранули	Гранули
Середовище	Інертне/екрани	Інертне/камера	Інертне локальне	Повітря/газ	Відкрите повітря	Вакуум
Джерело нагріву	Лазер/промінь	Лазер	Лазер	Електрична дуга	Газовий струмінь	Електропучок
Ремонтопридатність	Так	Так	Так	Так	Так	Ні
Виготовлення	Так	Так	Так	Так	Обмежено	Так
Різні матеріали	Можливо	Можливо	Можливо заміна дроту	Можливо заміна дроту	Так	Ні
Затвердіння	Так	Так	Так	Так (повільніше за лазер)	Без плавлення	Так
Термозміцнення	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7
Навісні елементи	Обмежено	Обмежено	Обмежено	Обмежено	Обмежено	Так
Пориста структура	Ні	Ні	Ні	Ні	Ні	Так
Чистота поверхні	Середня	Середня	Низька	Груба тек.	Середня/ груба	Середня
Фінальне очищення	Залишки гранул	Залишки гранул	Не викор	Не викор	Надлишко к гранул	Спечені гранули

Отже, відповідно до зазначеного вище, доцільно застосовувати процеси Directed Energy Deposition для відновлення масивних і середньогабаритних деталей агромашин, тоді як Powder Bed Fusion переважно слугує для виготовлення ремонтних вставок і дрібних сегментів, а cold spray є оптимальним для чавунів і тонкостінних корпусів завдяки мінімальному тепловому впливу.

Список джерел посилання

1. Войтюк Д.Г., Гаврилюк Р.Г. Сільськогосподарські машини. Київ: Каравела, 2018. 552 с.
2. Зозуля П.Ф., Поліщук О.С., Поліщук А.О. Перспективи застосування 3D-друку в легкій промисловості. *Вісник Хмельницького національного університету*. 2017. № 4. С. 102-104.
3. Гречко О.М. Сучасні адитивні технології та 3D-друк. Огляд останніх досягнень в різних сферах людського життя. *Вісник НТУ «ХПІ» 2019. Серія: Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика*. 2019, № 1. С. 63-75.
4. Шаповалов В.О. Наукові основи дугових адитивних технологій у спецелектрометалургії та електрозварюванні. *Вісник НАН України*. 2018. № 7. С. 33-39.

УДК 621.311.243

ОСОБЛИВОСТІ МОНТАЖУ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

Негребецький І. С., старший викладач,
Полтавський державний аграрний університет

Монтаж сонячних панелей це комплексний процес, який вимагає врахування технічних, експлуатаційних та будівельних факторів.

Правильно виконаний монтаж сонячних модулів гарантує максимальний рівень виробітку електроенергії і визначає безпечність та довговічність роботи усієї системи.

Спочатку обирають оптимальне місце розташування фотоелектричних модулів. Для України найефективнішим вважається орієнтація панелей на південь. Кут нахилу також є принциповим параметром. Для стаціонарних конструкцій оптимальний кут коливається від 15° до 45° . Занадто пологий – погіршує продуктивність у зимовий період, а надто крутий – знижує ефективність у літній сезон. У комерційних системах часто використовують розрахункові моделі по місячних інтервалах, що дозволяють знайти компроміс між піковим і середньорічним виробітком [1].

Затіннення є одним із головних ворогів фотоелектричних систем. Навіть часткове закриття поверхні модуля здатне суттєво знизити виробіток всього стрінгу, оскільки сонячні панелі з'єднуються послідовно через конектори MC4. Найчастіші джерела затіннення – димові труби, антени, дерева, мансардні вікна, вентиляційні виходи, сусідні будівлі. Перед монтажем обов'язково проводять аналіз затіннення з урахуванням переміщення сонця протягом доби та сезонних змін, із використанням спеціальних приладів.

Надійність кріплення – основа безпечної та довговічної роботи сонячної системи. Конструкції поділяють на дахові та наземні. Для скатних дахів використовуються різні типи гаків і профілів, які кріпляться до крокв. Важливо правильно визначити місце проходження крокв, щоб забезпечити надійне кріплення та запобігти пошкодженню покрівельного покриття. Для металопрофіля – це спеціальні планки або кронштейни, для бітумної покрівлі – гаківі кріплення із гідроізоляційними фартухами. На плоских дахах використовують баластні або анкерні системи. Баластні конструкції не вимагають порушення покрівлі, але потребують розрахунку навантаження на перекриття. Анкерні системи потребують свердління, але забезпечують більшу стійкість до вітрових навантажень.

Наземні ферми дозволяють точно налаштувати кут нахилу та орієнтацію, а також спрощують обслуговування системи. Для них необхідно підготувати фундамент: бетонні блоки, металеві палі або гвинтові анкери. У сніжних регіонах враховують додаткові навантаження і передбачають достатній кліренс між нижньою кромкою панелі та землею.

Далі йде температурний фактор який не можна недооцінювати. Сонячні модулі втрачають ефективність при нагріванні – приблизно 0,3-0,5% потужності на кожен градус вище 25°C. Для зменшення перегріву, між панелями та поверхнею даху залишають вентиляційний зазор 10-15 см, що дозволяє повітрю циркулювати та відводити тепло. На плоских дахах інколи встановлюють панелі на підвищених рамах для покращення охолодження.

Важливим етапом є підбір інвертора та конфігурація стрінгів. Правильно підібраний інвертор забезпечує роботу всієї системи в оптимальному режимі. Необхідно враховувати: номінальну потужність інвертора; максимальну напругу холостого ходу стрінгу (особливо взимку); струм на МРРТ-входах; відповідність довжини стрінгів робочим діапазонам інвертора. При проектуванні стрінгів уникають змішування модулів різної потужності або орієнтації в одному ланцюзі [2].

Якісний електромонтаж є критичним елементом усієї системи. Кабелі мають бути стійкими до ультрафіолету, вологи, механічних впливів і мати відповідний поперечний переріз. Найчастіше застосовують спеціальні кабелі типу PV1-F. Електричні з'єднувачі – стандартні, типу MC4, забезпечують надійний контакт і відсутність до перегріву. Кабелі закріплюють так, щоб вони не провисали, не торкалися гострих країв і не створювали пасток, де може накопичуватися волога. Будь-яка фотоелектрична система обладнується елементами захисту: автоматичними вимикачами; запобіжниками; пристроями захисту від перенапруги; роз'єднувачами, для обслуговування. Заземлення сонячних модулів та інвертора є обов'язковим, що зменшує ризик ураження електричним струмом і захищає обладнання від імпульсних перенапруг [3].

Усі види робіт слід виконувати із дотриманням будівельних норм і правил монтажу щодо електротехнічних стандартів та рекомендацій виробників. Порушення норм знижує ефективність системи та створює ризики для експлуатації.

Після монтажу виконують повне випробування системи – перевіряють полярності з'єднань, вимірюють опір ізоляції, тестують стрінги напругою та струмом, виконують налаштування інвертора відповідно до мережевих параметрів, із подальшою реєстрацією системи у моніторинговому сервісі. Тільки після успішного тестування система може бути введена в експлуатацію. Хоча сонячні панелі потребують мінімального догляду, регулярний огляд є

необхідним. Періодично перевіряють цілісність кабелів, чистоту модулів, стан інвертора та роботу захисної автоматики. За допомогою систем моніторингу можна виявляти зниження продуктивності або проблеми зі стрінгом у режимі реального часу.

Список джерел посилання

1. Atmosfera: Типи сонячних електростанцій [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://www.atmosfera.ua/media/tipi-sonyachnih-elektrostantsij>
2. Ромашко В.Я. Регульовальні характеристики імпульсного регулятора понижувального типу, що заряджає акумулятор від сонячної батареї / В.Я.Ромашко // Електротехніка і Електромеханіка. 2020, № 2. С. 64-74.
3. Utem Solar: Установка сонячних батарей. Варіанти конструкцій під монтаж сонячних батарей [Електронний ресурс] / Режим доступу: <https://utem.org.ua>

УДК 621.3:620.9

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЦІ ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІЦІ

*Устименко О. А., викладач,
Відокремлений структурний підрозділ
«Хорольський агропромисловий фаховий коледж
Полтавського державного аграрного університету»*

Війна вносить свої корективи в наше життя, Українська енергетика стоїть на порозі глобальних змін. Перехід з глобальної системи електропостачання до локальних джерел.

Найпоширеніші локальні джерела електричної енергії це: когенератори, міні ГЕС, сонячні, вітрові електростанції, термоелектричні генератори, і інше.

Для безперервного електропостачання об'єктів, споживачі намагаються застосовувати прості в монтажі та експлуатації системи, але їхня ефективність не досить висока.

Застосування сонячної електростанції ефективно лише в світлий період доби, високим сонячним світловим потоком. В осінньо-зимовий період виробництво електроенергії СЕС знижується до 10 – 20 %.

Середня вітрова активність на Полтавщині сягає 2 - 6 м за секунду. Вітрові електростанції досить ефективні в нічний період доби, особливо в зимовий період, цього цілком достатньо для додаткової генерації.

Для резервного електрозабезпечення невеликих об'єктів: освітлення, засобів зв'язку, насоси системи опалення, та систем водопостачання і інше. Мова іде про потужність від 100 Вт до 10 кВт. Якщо застосовувати вітрогенератори промислової серії то витрати на придбання і монтаж будуть значні.

Якщо застосувати існуюче обладнання, наприклад асинхронні двигуни з швидкість обертання до 1000 обертів на хвилину, то на базі такого двигуна можна створити вітрову електростанцію. Корисна дія двигуна як генератора досягатиме близько 40%. Для підвищення ефективності такої системи необхідно застосувати конденсатори, ємність яких необхідно змінювати в залежності від обертів і навантаження. На рисунку 1 зображена система асинхронного генератора з конденсаторним збудженням.

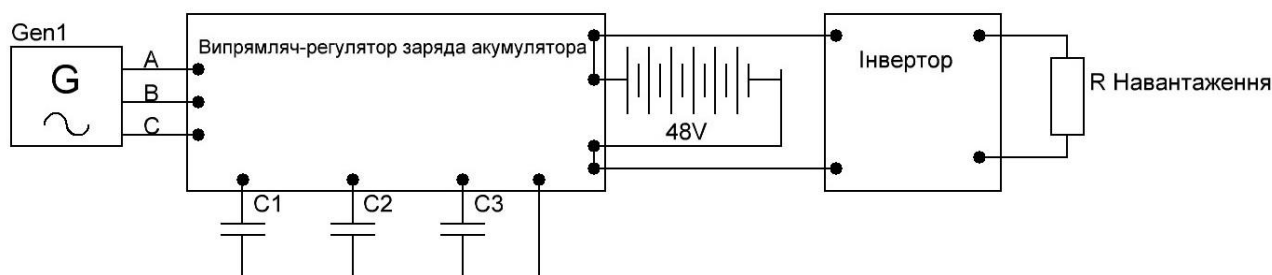


Рисунок 1 – Система асинхронного генератора з конденсаторним збудженням

Генератори на неодимових магнітах має високу ефективність близько 85%. Для ефективної роботи необхідно застосовувати MPPT контролер заряду акумулятора. На рисунку 2 зображена система генератора з неодимовими магнітами.

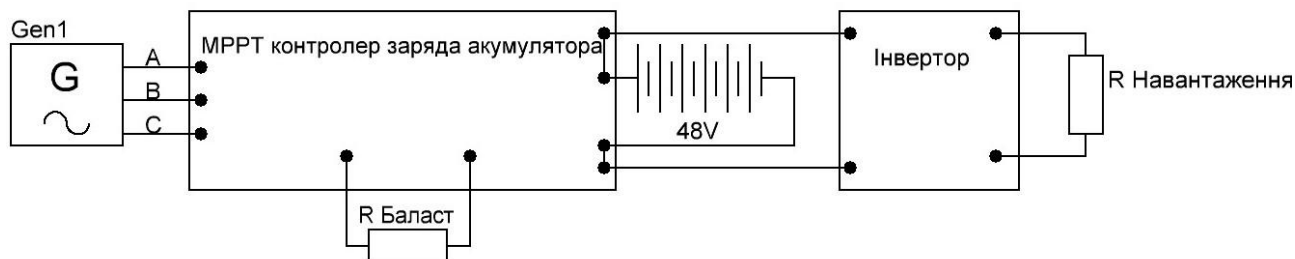


Рисунок 2 – Система генератора з неодимовими магнітами

Оскільки активність вітру нашого регіону не висока, а пориви вітру бувають переважно вночі, то як самостійне джерело електроенергії вітрогенератор не ефективний.

Якщо інтегрувати вітряк до сонячної станції то отримана система матиме високу ефективність. Для цього необхідно використовувати гібридний MPPT контролер для підключення фотомодулів та вітрогенератора. На рисунку 3 зображена гібридна система генератора з фотомодулями.

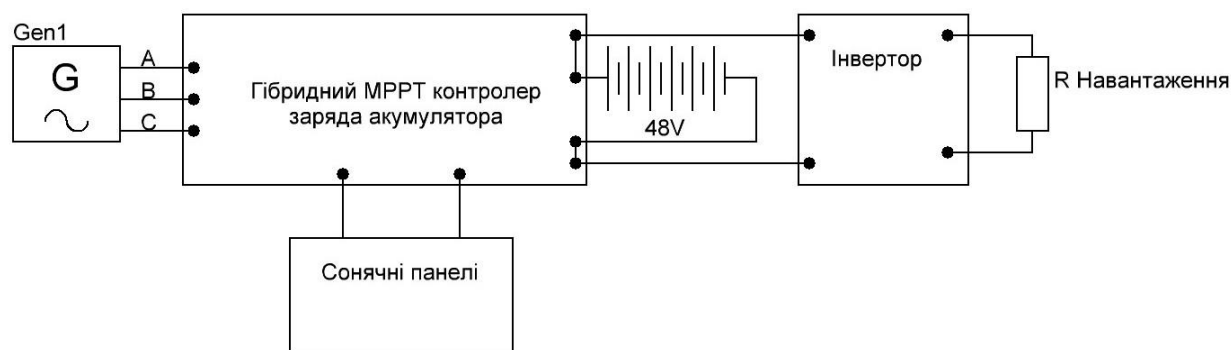


Рисунок 3 – Гібридна система генератора з фотомодулями

Список джерел посилання

1. Генератори на постійних магнітах на мікрогідро-електростанціях. URL: <https://surl.li/zrkhjw> (дата звернення: 10.11.2025).

2. Галько С. В. Малопотужний вітроелектрогенератор на неодимових магнітах. URL: <http://www.tsatu.edu.ua/tsst/wp-content/uploads/sites/6/halko.pdf> (дата звернення: 10.11.2025).

УДК 620.9:502.174

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ, ДЕРЕВИНИ, РОСЛИННИХ РЕШТКІВ, ГАЗУ І БІОГАЗУ, БІОПАЛИВА У ЯКОСТІ ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*Стеценко М. О., завідувач лабораторії,
Полтавський державний аграрний університет*

Наша країна посідає четверте місце серед країн Європейського Союзу (після Фінляндії, Франції і Німеччини) за потенціалом альтернативної енергії. Щороку в Україні споживається 19,8 мільярдів

тон умовного палива, із них біля 79 мільйонів тон могли б потенційно скласти ресурси відновлювальних джерел енергії (ВДЕ).

Зараз в Україні використовується приблизно 9,8% відновлювальної енергетики, в той час як тільки за рахунок енергії біомаси можна було б забезпечити восьму частину усіх енергетичних потреб нашої країни.

Світова енергетична криза почала загострюватися наприкінці минулого століття.

В Україні з 24-го лютого 2022 року, з початком російсько-української війни ці ознаки постають перед нашим суспільством все гостріше та частіше.

Енергетичні проблеми, які стоять не тільки перед нашою країною, але і усім людством неодноразово висвітлювалися в доповідях Організації Об'єднаних Націй, Всесвітньої Енергетичної Ради, Європейської Комісії, Міжурядовій Угоді у справах Змін Клімату, Європейської федерації Сонячної енергетики (ESTIF), Міжнародної Енергетичної Асоціації, Європейської Ради Відновлювальної Енергетики (EREC).

Основні висновки, що можна зробити з цих документів – усвідомлення урядами країн і суспільством необхідності переходу на відновлювальні джерела енергії (ВДЕ).

Раціональне використання відновлювальних джерел енергії: біомаси, вітру, геотермальної енергії, сонячного випромінювання, енергії морських хвиль є одним із істотних компонентів сталого розвитку.

Зростання участі відновлювальних джерел енергії в паливно-енергетичному світовому балансі сприяє поліпшенню ефективності використання і економії запасів енергетичної сировини, поліпшення стану навколишнього середовища (за рахунок зменшення атмосферних і водних ресурсів), а також зменшення кількості відходів виробництва і життєдіяльності людства.

За період з 1990 року використання енергії сонячного випромінювання в світі зросло в чотири рази, а енергії вітру у вісім разів. Потенційно найбільшими споживачами відновлювальної енергії можуть бути: житлове будівництво, сільськогосподарське виробництво, транспортна галузь.

За останні три роки в Україні гострою стала проблема залучення земель забруднених та непридатних для вирощування харчових культур. Вирощування технічних культур для виробництва біопалива та отримання біомаси вирішує цю проблему. Використовуючи

когенераційні установки, переробляючи відходи біомаси будуть отримані від них електричну та теплову енергію для власних потреб.

Широко впроваджуючи відновлювальні джерела енергії можна вирішити безліч екологічних проблем, що виникають у процесі використання традиційних паливних ресурсів (нафти, природного газу). Адже через спалювання традиційних палив щороку на землі до атмосфери потрапляє 40 мільярдів тон CO₂.

На даний час в Україні найбільші перспективи розвитку як відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) має біомаса. Наша країна має найбільший серед країн ЄС потенціал біомаси, що доступно для виробництва енергії. Такий загальний теоретичний потенціал біомаси в Україні за 2024 рік не вказаний, але на початок року встановлена електрична потужність біомасових та біогазових об'єктів становила 319 МВт (без окупованих територій).

На цю потужність припадало 68 біогазових установок (135МВт) та 24 біомасових об'єкти (178 МВт).

Економічний потенціал біомаси в Україні може задовольнити близько 11% загальної потреби в енергії до 2035 року.

Технічно досяжний – 37,8 мільйонів тон нафтового еквівалента на рік; економічно доцільний – 30 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.). З них на відходи рослинництва та тваринництва аграрної галузі припадає до 15,5 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.), лісового господарства – 11,4 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.), а рідкі і тверді міські відходи – 3,1 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.).

Біомаса може використовуватися в процесі безпосередньо спалювання деревини, соломи, отримання і спалювання біогазу, або ж перероблятися на рідкі види палива – біодизель та біоетанол.

Наша країна постачає біоенергетичну сировину на світовий ринок.

Приблизно 5-7 мільйон тон умовного палива (т.у.п.), використовують за рік при традиційному спалюванні під час опалення приватних осель.

Більше 1500 твердопаливних котлів працює на об'єктах в галузі деревопереробної та лісової промисловості.

Когенераційні установки та твердопаливні котли встановлюють для спалювання відходів сільськогосподарського виробництва. Майже всі відходи сільського господарства у вигляді пелетів ідуть на експорт. Більше 86% рапсу, що вирощують в нашій країні також експортують.

Що стосується деревини? Загальна площа лісового фонду України 104млн га, з яких 96 млн га вкриті лісовою рослинністю. Загальний

запас деревини в лісах України 2,3 мільярда кубометрів., в стиглих і перестійних насадженнях – 122,8 млн м³.

Значну кількість відходів деревини дає дерево-обробна промисловість. В нашій країні деревину використовують для прямого спалювання у котлах. Як правило, твердопаливні котли застосовують в аграрних, домашніх, фермерських господарствах та у великих промислових котельнях.

В нашій, традиційно аграрній країні, можна отримувати до 45 мільйонів тон відходів сільського господарства.

Енергетичний потенціал цих відходів в Україні оцінюється у: теоретичний – 21,43 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.); технічний – 12,81 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.); економічно доцільний – 7,75 мільйонів тон умовного палива (т.у.п.).

Використовуючи в нашій країні солому, як паливо, можна створити – 13 тисяч малих тепло генеруючих потужностей (0,1-1,0 МВт) плюс 700 тепло генеруючих потужностей для систем централізованого теплопостачання (1,0-10,0МВт).

Якщо взяти усі опалювальні котельні, що експлуатуються у сільській місцевості, то енергія, отримана при використанні вище наведеної кількості палива, перевищить їх потужності. Використання соломи в таких обсягах дозволило б зекономити нашій країні від 4,5 до 14млрд м³ природного газу.

В нашій країні існує практика спалювання рослинних рештків, що супроводжують технологічні процеси отримання основної сільськогосподарської продукції (це виноградна лоза, гілки після обрізання погодових дерев, рисова лузга, рисова солома).

Щорічно на 30 тис. га виноградної виноградики України обрізають 150 тисяч тон виноградної лози. Її енергетичний еквівалент дорівнює майже 200 тисяч тон вугілля. Через високий вміст кремнію і неможливість використання через це як органічного добрива щорічно спалюється енергія накопичена у 25-30 тисячах тон рисової лузги, та 150-170 тисячах тон рисової соломи.

Щорічно в садах України вирізують 31,9 мільйонів тон деревини, з них можна отримати 4,6 МВт/год електроенергії або 0,6 млн. Гкал тепла.

Питання використання газу з полігонів твердих відходів.

За розрахунками річний потенціал звалищного газу в Україні складає близько 400 млн м³. Використання звалищного газу, до складу якого входить до 60% CH₄, може не тільки захистити навколишнє

середовище від забруднення, але й отримати електричну та теплову енергію.

Більшість звалищ в нашій країні не були дообладнані відповідними устаткуваннями і основні маси відходів залишаються просто неба, то доля використання газу становить лише від 30 до 40% цілковитого потенціалу звалища. Будуючи установки по виділенню звалищного газу та подальшого його спалювання буде найкращим захистом навколишнього середовища від екологічних загроз. Серед технологій відновлювальних джерел енергії технології енергетичного використання звалищного газу для виробництва електро– і теплової енергії відносять до тих, що найбільш динамічно розвиваються.

Стосовно газу з ферментації відстоїв і стоків.

Технічний потенціал використання біогазу від стічних вод для енергетичних цілей дуже високий.

Ще 1965 року в с. Бортничі, поблизу Києва була запущена біоустановка, що виробляє близько 10 млн м³ біогазу на рік з осадів стічних вод столиці. Аналогічні установки функціонують у Кривому Розі, Одесі, Харкові.

Енергетичний потенціал підприємств в Україні складає 0,76 мільйонів тон умовного палива. З 124 мільйонів тон гною, що продукує худоба і птиця в Україні, тільки третина, що виробляється у сільськогосподарських підприємствах може перероблятися у найближчий час на біогаз. Потенційне виробництво 2,78 млрд. м³ біогазу складає до 10-16 % річного споживання цього енергоносія у різні роки у нашій країні.

В січні 2001 р. була створена Всеукраїнська громадська організація «Українська біоенергетична асоціація (УБА), що об'єднала національних фахівців в галузі біоенергетики та українських промисловців, які пропонують для впровадження новітні розробки в галузі біоенергетики.

В Україні тільки розпочинається широкомасштабне виробництво біодизельного палива. В нашій країні вже ухвалено нормативні документи, стосовно виробництва біопалива із відновлювальної природної сировини. Базовим пунктом програми виробництва біодизельного палива є підтримка виробників з боку держави. Виробництво може бути рентабельним, якщо в перспективі будуть діяти дотації і додаткові пільги з боку держави.

З вирощуванням рапсу в Україні пов'язані багатообіцяючі перспективи біодизеля в нашій країні.

Не погані умови для вирощування цієї культури мають Вінницька, Волинська, Житомирська, Івано-Франківська, Київська, Львівська, Рівненська, Тернопільська, Хмельницька, Чернівецька області. Однією з особливостей цієї культури є здатність очищати ґрунт від радіонуклідів, що не потрапляють у рапсову олію.

У травні 2020 року в місті Чернівці почала роботу перша АЗС, яка реалізувала біопалива стосовно питання гідроенергетики.

Список джерел посилання

1. Титко Р., Калініченко В. М. Відновлювальні джерела енергії (досвід Польщі для України): навчальний посібник. Варшава: OWG. 2010. 530 с.

2. Перспективи розвитку ринку біомаси в ЄС і Україні. Вплив використання біомаси на зміну клімату. URL: <https://uspp.ua/assets/doc/uspp-biomass.pdf> (дата звернення: 15.11.2025).

УДК 621.983

ПРОЦЕС ЗГИНАННЯ ЛИСТОВИХ ЗАГОТОВОК

*Сімонов М. В здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

В умовах сучасного виробництва для виготовлення різних деталей з різних матеріалів (вуглецеві та корозійностійкі сталі, алюмінієві, магнієві та титанові сплави та ін.) товщиною від 0,25 до 3,5 мм широко застосовують процеси листового штампування заготовок на листоштампувальних молотах виготовленими свинцево-цинковими штампами. Простота конструкції та невисока вартість, а також універсальність листоштампувальних молотів, що дозволяє випускати велику номенклатуру деталей, знижує витрати на обладнання та інструмент при одиничному та дрібносерійному виробництві [1].

Однією з поширених операцій листового штампування на молотах є згинання.

Згинання – утворення кута між частинами заготівлі або надання заготівлі криволінійної форми (рисунок 1). При згинанні змінюється

кривизна серединної поверхні при майже незмінних лінійних розмірах, що супроводжується нерівномірним розподілом деформації по товщині. При згинанні зазвичай змінюється кривизна серединної поверхні в одній площині, а кривизна заготівлі в площинах, перпендикулярних до площини вигину, повинна залишатися незмінною, що дорівнює нулю. Пластично деформується лише ділянка заготівлі у зоні контакту з пуансоном. Деформація розтягування зовнішніх шарів і внутрішніх стисків збільшується зі зменшенням радіуса заокруглення робочого торця пуансона, при цьому зростає ймовірність утворення тріщин. Тому мінімальний радіус пуансону обмежується величиною в межах 0,1–2,0 від товщини заготовки, залежно від механічних властивостей матеріалу [2].

На всьому протязі процесу згинання заготівля має внутрішнє закруглення, яке більше радіусу пуансона, причому при згинанні відбувається поступове зменшення радіуса кривизни та плеча згину. Заготовка закругленням, що поступово зменшується, прилягає в двох точках до стінок матриці і з деякого моменту виявляється притисненою до пуансона в трьох точках. Тільки в кінці ходу, при глухому ударі, що калібрує, заготівля прилягає до пуансона.

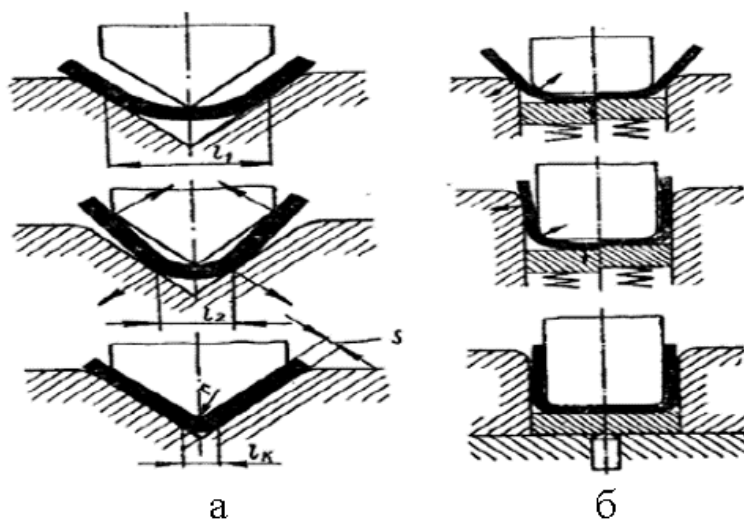


Рисунок 1 – Послідовність процесу згинання:
а – однокутове згинання; б – двокутне згинання

При знятті навантаження розтягнуті шари заготовки пружно стискаються, а стислі – розтягуються, що призводить до зміни кута згинання α , тобто до пружинення деталі. Це слід враховувати при зменшенні кута інструменту на величину пружинення або застосуванням в кінці робочого ходу додаткового зусилля.

Основними недоліками згинання на листоштампувальних молотах є низька розмірна точність деталей, що виготовляються, і невідповідність геометричних розмірів деталей заданим на кресленні внаслідок пружного пружинення деталі, а також високі трудомісткість і витрати на виробництво, пов'язані з великою кількістю довідкових операцій. При цьому необхідні розміри деталі забезпечують додатковою правкою (калібруванням) в окремому штампі та з силами, що значно перевищують силу штампування деталі або ручним доведенням, що погіршує якість поверхні деталі та збільшує трудомісткість та витрати на виготовлення деталей.

На підставі результатів експериментально-теоретичних досліджень процесів кування та гарячого об'ємного штампування на молотах [2], показали можливість підвищення ККД ударного деформування заготовок при збільшенні тривалості удару при використанні баби молота з наповнювачем у вигляді сталевих куль, було зроблено припущення про можливість підвищення розмірної точності деталей та зниження пружного пружинення при згинанні на листоштампувальних молотах шляхом збільшення тривалості ударної взаємодії інструменту наповнювачем), що забезпечує утримання частин молота, що падають, в нижній точці при ударі. В результаті може бути забезпечене виготовлення деталей із заданими розмірами та точністю, а також виключені трудомісткі операції ручного доведення та додаткового виправлення (калібрування) деталей

У зв'язку з цим розробка науково-обґрунтованих технічних рішень, спрямованих на підвищення точності деталей та зниження трудомісткості при згинанні на листоштампувальних молотах є актуальною. Експериментальні та теоретичні дослідження процесів ударного деформування при згинанні на молотах дозволять провести їх математичний опис та розробити практичні рекомендації та пропозиції щодо вдосконалення технологічних процесів згинання на листоштампувальних молотах, що забезпечують отримання деталей необхідної якості та зниження витрат на виробництво.

Список джерел посилання

1. Паливода Ю. Є., Дячун А. Є. Заготовки у машинобудівному виробництві: навч.-метод. посіб. Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. 148 с. URL: <https://surl.lu/ukqgie>

2. Технологія процесів листового штампування: навч.-метод. посіб. до практичних занять і самостійної роботи для студентів

спеціальності 131 Прикладна механіка: / уклад: В. Л. Чухліб, О. А. Юрченко, А. В. Ашкелянець. Харків: НТУ ХПІ, 2021. 76 с.

[URL:https://surl.li/qkodtr](https://surl.li/qkodtr)

УДК 664.951

РОЗРОБКА РАЦІОНАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ КОНДУКТИВНОГО ЖАРЕННЯ ПОСІЧЕНИХ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ

*Скрипник В. О., доктор технічних наук, професор,
Семенов А. О., кандидат фізико-математичних наук, доцент,
Бут А. Г., здобувач вищої освіти третього рівня (PhD),
Шалдуга І. А., здобувач вищої освіти другого рівня (магістр),
Полтавський державний аграрний університет*

Підвищення ефективності сушіння рослинної сировини неможливе без чіткого визначення параметрів, за яких процес стає одночасно інтенсивним, енергоощадним і безпечним для структури продукту. Кондуктивне сушіння нативної картоплі, як матеріалу з характерною капілярно-пористою будовою, потребує врахування взаємодії теплового потоку, механічного навантаження та внутрішньої дифузії вологи. Саме тому метою даного дослідження було встановлення раціональних режимів, які забезпечують оптимальне співвідношення тривалості процесу, енерговитрат і якості висушеної картоплі.

Об'єктом дослідження є технологія кондуктивного сушіння нативної порізаної картоплі. Предметами дослідження визначено власне нарізану картоплю, висушений продукт та експериментальні зразки обладнання для реалізації процесу. Методика досліджень базувалася на повнофакторному плані 3^3 , що дозволило охопити вплив трьох ключових факторів: товщини скибок (1...3 мм), температури плит (110...130 °C) та надлишкового тиску (10...20 кПа). Для кожної комбінації визначали тривалість сушіння, масові зміни, витрату електроенергії та якість готового продукту.

Встановлено, що товщина скибок є домінуючим фактором, який визначає тривалість і динаміку всього процесу. Тонкі зразки прогриваються значно швидше, і випаровування вільної вологи відбувається у стислі терміни, тоді як скибки 3 мм демонструють триваліший перехід до дифузійної стадії. З іншого боку, надто тонкі

скибки (1 мм) є чутливими до надмірних температур, що може призводити до локального підсушування. Саме тому товщина 2 мм виявилася найбільш збалансованою з точки зору технологічності та стабільності результатів.

Температура поверхонь сушіння впливає передусім на інтенсивність початкової стадії, коли випаровування визначається різницею температур і здатністю шару передавати теплоту до центру. Підвищення температури до 120 °С забезпечувало найвищу інтенсивність процесу без критичного впливу на якість виробів. За 130 °С, попри прискорення сушіння, спостерігалось небажане пожовтіння, підвищення ламкості та нерівномірність структури тонких зразків, що знижує доцільність використання такого режиму в реальних виробничих умовах.

Особливої уваги заслуговує дослідження ступеня притискання. Механічний тиск покращує тепловий контакт і зменшує термічний опір у зоні «плита – продукт», що підвищує ефективність початкової стадії [1]. Дослідження показали, що надлишковий тиск 15...20 кПа є оптимальним для картоплі: він забезпечує інтенсивний початковий прогрів і разом з тим не створює умов для надмірного стискання рослинних тканин, які можуть погіршувати дифузію вологи у кінцевій фазі.

Запровадження комбінованого режиму зі скиданням тиску після випаровування поверхневої вологи стало ключовим елементом розробки оптимального процесу. Встановлено, що з моменту досягнення критичної вологості близько 11 % механічний тиск перестає відігравати позитивну роль, і зняття навантаження дозволяє зменшити внутрішні опори масоперенесенню. Це дало змогу скоротити тривалість дифузійної стадії та підвищити однорідність остаточної структури висушеної картоплі. Енергетичний аналіз показав, що комбінований режим знижує питомі витрати електроенергії на 9...14 %, а інколи й більше, залежно від товщини скибок. Додатково зростав інтегральний коефіцієнт ефективності, що свідчить про кращу термодинамічну відповідність процесу.

Оцінювання якості показало, що оптимальні режими забезпечують світло-кремове забарвлення, рівномірну текстуру, відсутність деформацій та приємний натуральний аромат. За 110 °С продукти мали найкращий вигляд, але тривалість процесу була помітно більшою. За 120 °С було досягнуто оптимального співвідношення швидкості сушіння, енергоефективності та сенсорних властивостей.

Мікробіологічні дослідження підтвердили високу безпечність продукції, що є важливим чинником для промислових і малих виробництв.

Таким чином, за результатами комплексного аналізу встановлено, що раціональними параметрами кондуктивного сушіння нативної картоплі є температура 120 °С, тиск 15...20 кПа, товщина скибок 2 мм та застосування режиму зі скиданням тиску після завершення першої стадії. Саме така комбінація забезпечує найкращий баланс між продуктивністю, енергетичними показниками й якістю висушеного продукту та формує основу для подальшого проєктування енергоощадних міні-цехів із виробництва висушеної овочевої продукції.

Список джерел посилання

1. Підвищення енергетичної і ресурсної ефективності процесів і апаратів кондуктивного жарення м'яса : монографія / Скрипник В. О., Молчанова Н. Ю., Фарісеєв А. Г., Тарасенко Д. С. Полтава : ПП «Астроя», 2024. 274 с. URL: <https://surl.li/owugxz> (дата звернення: 05.11.2025).

УДК 620.9

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ В ЕНЕРГЕТИЧНОМУ СЕКТОРІ ПІСЛЯ 2020 РОКУ

*Стогній А. О., викладач-методист вищої категорії,
Відокремлений структурний підрозділ
«Хорольський агропромисловий фаховий коледж
Полтавського державного аграрного університету»*

Після 2020 року енергетичний сектор зіткнувся з новими глобальними викликами: пандемією COVID-19, енергетичною кризою 2021–2022 років, зростанням попиту на електроенергію, а також активізацією міжнародної політики декарбонізації. У цих умовах розвиток нових технологій став критично важливим для забезпечення енергетичної безпеки, стійкості та конкурентоспроможності держав. Водночас пришвидшена цифровізація та значне здешевлення відновлюваних джерел енергії сформували основу нового етапу трансформації енергетики.

1. Відновлювані джерела енергії як фундамент енергетичного переходу

Починаючи з 2020 року, розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) став центральним елементом енергетичних стратегій більшості країн світу. Зростання інвестицій у сонячну та вітрову генерацію зумовлює необхідність модернізації всієї енергосистеми.

Одним із найважливіших проривів останніх років є поява перовскітно-кремнієвих тандемних сонячних модулів, ефективність яких після 2023 року перевищила 28%. Одночасно з цим швидко зростає сектор офшорної вітрової енергетики, де турбіни нового покоління (14–18 МВт) дозволяють отримувати електроенергію навіть у районах зі складними умовами.

2. Системи накопичення як відповідь на виклики ВДЕ

Швидке зростання частки ВДЕ після 2020 року зробило питання накопичення енергії ключовим фактором стабільності енергосистеми. Тому у цей період активно розвиваються нові технології акумулювання.

Твердотільні акумулятори демонструють вищу безпеку та енергетичну щільність порівняно з традиційними літій-іонними батареями. Паралельно з'явилися натрій-іонні батареї, виробництво яких після 2021 року розпочалося в промислових масштабах. Окрему увагу привертають водневі системи накопичення, здатні зберігати надлишкову енергію у вигляді зеленого водню.

3. Цифровізація як інструмент синхронізації енергетичної системи

Поява нових технологій генерації та накопичення енергії підвищує складність енергетичної системи. Саме тому цифровізація після 2020 року стала невід'ємною частиною сучасної енергетики, забезпечуючи стабільну роботу мережі з великою кількістю ВДЕ.

4. Воднева енергетика як логічне продовження розвитку

Швидке масштабування електролізерів дозволяє виробляти зелений водень у великих обсягах. Він може застосовуватися у важкій промисловості, транспорті та як додатковий елемент енергосистеми. У період після 2020 року воднева енергетика дедалі більше розглядається як ключовий напрям розвитку глобальної енергетичної інфраструктури. Зокрема, зниження вартості електролізерів та підвищення їх ефективності зробили виробництво зеленого водню економічно привабливішим. Країни ЄС, Японія, Південна Корея та Австралія активно інвестують у створення водневих кластерів та міжнародних коридорів постачання водню.

Зелений водень стає стратегічним ресурсом для декарбонізації секторів, які неможливо повністю електрифікувати, таких як металургія, цементна промисловість та хімічне виробництво. У транспорті він використовується для живлення вантажних автомобілів, поїздів та морських суден, а водневі паливні елементи демонструють високу ефективність і тривалу автономність роботи.

5. Мікромережі як модель енергетики майбутнього

Після 2020 року значного поширення набули мікромережі, які об'єднують ВДЕ, накопичувачі та цифрові системи в єдину локальну інфраструктуру. Їх популярність зросла завдяки здешевленню сонячних панелей, розвитку літій-іонних та натрій-іонних акумуляторів, а також підвищенню гнучкості цифрових платформ керування. Мікромережі забезпечують енергетичну автономність окремих районів, підприємств або критичної інфраструктури, дозволяючи працювати як у складі загальної електромережі, так і автономно — у режимі «острова». Особливо важливими вони стали для регіонів, де наявні проблеми зі стабільністю електропостачання або існують ризики пошкодження магістральних мереж. Поширення технологій прогнозування виробітку ВДЕ та систем автоматизації дозволяє мікромережам динамічно балансувати навантаження, оптимізувати витрати та зменшувати втрати енергії. У промисловості мікромережі використовуються для підвищення енергоефективності виробництва, забезпечення гарантованого живлення та інтеграції локальних джерел генерації. У містах вони стають ключовим елементом концепції «розумних енергетичних районів», де поєднання сонячних дахових станцій, зарядних станцій для електромобілів і накопичувачів створює стійку та гнучку енергетичну екосистему.

Сучасна енергетика рухається до створення стійких, децентралізованих, цифрових та екологічно чистих енергосистем. Взаємодія технологій після 2020 року формує фундамент майбутнього енергетичного сектору.



УДК 531.1:633.1:691.88

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА КОНТРОЛЬОВАНОГО РУХУ ЗЕРНА НА РОЗГІННІЙ І ДВОХ ГАЛЬМІВНИХ ДІЛЯНКАХ ПРЯМОГО КАНАЛУ

*Антонець А. В., кандидат педагогічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Під час гравітаційного завантаження силосів зерно зазнає ударів об дно, стінки або зерновий насип. Попри значну кількість наукових досліджень, проблема створення конструктивно нескладного гравітаційного пристрою для делікатного завантаження зерном різних ємностей усе ще залишається невирішеною. Щоб всебічно підійти до питання акуратного подавання зерна в силоси, доцільно провести експериментальне вивчення роботи відкритого похилого каналу прямолінійної конфігурації, який складається з трьох секцій із різними кутами нахилу.

На основі попередніх напрацювань [1, 2], що стосувалися дослідження похилого каналу з трьох секцій із регульованими кутами нахилу, було створено лабораторний зразок (рис. 1). Така установка, призначена для вивчення керованого руху зерна на розгінній та двох гальмівних ділянках прямолінійного каналу, забезпечує можливість проведення статистичного аналізу як теоретичних, так і експериментальних даних. Це необхідно для підтвердження коректності та достатньої точності раніше запропонованої аналітичної моделі [2]. Модель визначається співвідношеннями між трьома кутами нахилу його ділянок (1), що визначають математичні залежності між кутами α , β і γ від і дають можливість розрахувати параметри таким чином, щоб швидкість зерна на початку і в кінці руху збігались, таким чином унеможлививши зберігання зерна.

Запропонований лабораторний зразок гравітаційної установки (рисунок 1) містить: резервуар з насінням, канал першої розгінної ділянки; дві ділянки каналу для гальмування, троси для регулювання по висоті трьох складових каналу; резервуар для зерна, що виходить з останньої ділянки похилого каналу.

Під час експериментальних досліджень визначали кінцеву швидкість руху зерна на виході з каналу. При цьому варіювали кути нахилу розгінної та гальмівних ділянок, тоді як решта параметрів залишалася незмінною.

$$\begin{aligned}
 \beta &= 2\arctg\left(\frac{-1+\sqrt{1+(\mu^2-b^2)}}{\mu-b}\right) + 2\pi k, \text{ де} \\
 b &= \frac{\sqrt{h_0^2 + h_0 l_1 \sin \alpha - h_0 \mu l_1 \cos \alpha} - h_0}{2l_2} - \frac{3l_1(\sin \alpha - \mu \cos \alpha)}{4l_2} \\
 \gamma &= 2\arctg\left(\frac{-1+\sqrt{1+(\mu^2-c^2)}}{\mu-c}\right) + 2\pi k, \text{ де} \\
 c &= \frac{h_0 - \sqrt{h_0^2 + l_1 h_0 \sin \alpha - \mu l_1 h_0 \cos \alpha}}{2l_3} - \frac{l_1 \sin \alpha - \mu l_1 \cos \alpha}{4l_3}
 \end{aligned} \tag{1}$$



Рисунок 1 – Гравітаційна установка

Прийнято наступні початкові умови: $h_0=0,15$ м; довжина ділянок каналу відповідно $l_1=1$ м, $l_2=1$ м і $l_3=0,5$ м, зміна кута α з кроком 1° в межах від 36° до 45° ; коефіцієнт тертя зерна озимої пшениці по шорсткій поверхні металу $\mu = 0.4$. Для подальшого вивчення швидкості зернової маси на виході з каналу були використані зазначені вище початкові умови та встановлені значення кутів нахилу. Для кожного з 10 наборів цих кутів виконували по 5 паралельних випробувань. Отримані дані щодо кінцевої швидкості руху зерна та їх статистичне опрацювання подано в таблиці 1.

Статистичний аналіз експериментальних даних (таблиця 1) засвідчив, що розкид значень швидкості для кожного встановленого

кута α є найменшим, розбіжності деяких результатів від середнього значення не перевищують 5%. Однорідність дисперсій була перевірена за критерієм Кохрена. Обчислене значення $G = 0,1945$ значно менше за його табличне $G_{\text{табл.}} = 0,3733$, яке отримане на основі, загальної кількості факторів впливу, паралельних дослідів і проведених замірів. Відносні похибки теоретичних та експериментальних значень не більше 9%. Виконання F-критерію Фішера ($F_{\text{спостер}} = 1,367086418$ менше за $F_{\text{табл.}} = 2,249024325$) та однорідність дисперсій засвідчують адекватність представленої раніше аналітичної моделі.

Таблиця 1 – Швидкість руху зернової маси під час сходу з каналу

Кут α	Кут β	Кут γ	Кінцева швидкість $V_{\text{кін}}$, м/с					Кінцева швидкість $V_{\text{кін}}$, середня	Дисперсія дослідів D_i	Теоретична кінцева швидкість $V_{\text{кін}}$, м/с	Відносна похибка, δ , %
36	31,5	30,2	1,6	1,5	1,9	1,8	1,7	1,7	0,025	1,715517	0,90453262
37	30,9	29,2	1,8	1,5	1,7	1,7	1,9	1,72	0,022	1,715517	0,26129640
38	30,4	28,4	1,7	1,8	1,6	1,7	1,3	1,62	0,037	1,715517	5,56784873
39	29,8	27,5	1,4	1,7	1,5	1,6	1,6	1,56	0,013	1,715517	9,06533581
40	29,3	26,7	1,6	1,9	1,7	1,5	1,6	1,66	0,023	1,715517	3,23619067
41	28,7	25,8	1,6	1,7	1,7	1,6	1,8	1,68	0,007	1,715517	2,07036165
42	28,1	25,1	1,5	1,4	1,7	1,8	1,9	1,66	0,043	1,715517	3,23619067
43	27,5	24,1	1,7	1,9	1,7	1,8	1,5	1,72	0,022	1,715517	0,26129640
44	27,1	23,3	1,8	1,7	1,6	1,6	1,7	1,68	0,007	1,715517	2,07036165
45	26,4	22,5	1,5	1,8	1,7	1,9	1,7	1,72	0,022	1,715517	0,26129640
Похибка експерименту									0,148660687		
Максимальна дисперсія, D_{max}									0,043		
Сума дисперсій, ΣD									0,221		
Спостережене значення критерію Кохрена, G									0,194570136		

У результаті виконаних експериментів встановлено, що кінцева швидкість руху зерна на виході з каналу змінювалася в діапазоні 1,4–1,9 м/с, тоді як середні значення для кожного набору параметрів становили від 1,56 до 1,72 м/с. Отримані експериментальні дані добре узгоджуються з теоретичною швидкістю 1,715517 м/с, що підтверджує надійність і точність аналітичної моделі.

Список джерел посилання

1. 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. 2025. 3(1(83)). 13–19.
<https://doi.org/10.15587/2706-5448.2025.330574>

2. Антонець А. В., Флегантов Л. О., Іванов О. М., Арендаренко В. М., Кошова О. П. Дослідження контрольованого гравітаційного руху зерна у похилому каналі з трьома змінними кутами нахилу. *Вісник ПДАА*. 2021. № 3. С. 265–273. DOI: 10.31210/visnyk. 2021.03.33.

УДК 539.3

СТІЙКІСТЬ ТА ВТОМНА ДОВГОВІЧНІСТЬ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЙ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ В УМОВАХ ЗМІННИХ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Гордієнко О. О., здобувач вищої освіти першого рівня (бакалавр),
Муравльов В. В., кандидат технічних наук, доцент,
Полтавський державний аграрний університет*

Сучасні енергетичні установки – насосні агрегати, турбомашини, вентиляторні та компресорні приводи, опорні та несучі елементи тепломеханічного обладнання працюють у складних експлуатаційних режимах, де поєднуються змінні механічні навантаження, температурні впливи та вібрації. У таких умовах ключовими параметрами, що визначають надійність і ресурс обладнання, є стійкість елементів конструкцій, їх здатність протистояти втраті форми рівноваги, а також втомна довговічність, яка обмежує строк експлуатації при багатократному повторенні циклів навантаження.

Втрата стійкості в стержневих і тонкостінних елементах конструкцій енергетичного обладнання може відбуватися навіть при діях навантажень, що нижчі за розрахункові межі міцності. Дослідження, присвячені визначенню критичних навантажень для стержнів та оболонок, доводять істотний вплив форми поперечного перерізу та жорсткісних характеристик на граничний стан елемента [1]. Для опорних консолей, фланцевих з'єднань і трубчастих опор правильний вибір моментів інерції та мінімізація зон локальної втрати жорсткості є ключовими чинниками запобігання раптовим відмовам.

Проблема втомної довговічності також відіграє значну роль. Елементи енергетичного обладнання зазнають змінних напружень, спричинених пусками і зупинками агрегатів, коливаннями тиску, гідравлічними ударами та вібраціями. Дослідження з поведінки

наплавлених і зварних деталей при циклічному навантаженні підтверджують, що технологічні нерівності, залишкові напруження та локальні концентратори значно прискорюють зародження тріщин та зменшують ресурс елементів [2, 3]. Це особливо критично для теплосилових агрегатів та насосних станцій.

Особливого значення набуває вибір оптимальної форми поперечного перерізу, що забезпечує максимальну стійкість при мінімальній масі. Сучасні механіко-аналітичні та числові дослідження доводять, що оптимізація жорсткісних характеристик може підвищити критичні навантаження без збільшення матеріаломісткості [1]. Рациональні перерізи особливо важливі у вузлах, де поєднуються вигин і поздовжній стиск, зокрема у фундаментних рамах, опорних рамах та вузлах кріплення обладнання.

Подальші дослідження мають поєднувати аналітичні методи визначення критичних навантажень із прогнозуванням втомного пошкодження елементів конструкцій. Перспективними є моделі, що інтегрують оцінку стійкості, мікроструктури матеріалу та реальний ресурс конструктивних елементів із урахуванням дефектів виготовлення, нерівномірності навантажень і умов експлуатації. Оптимізація форми перерізів засобами числового моделювання залишається важливим напрямом підвищення надійності та ефективності енергетичного обладнання.

Таким чином, оцінка стійкості та втомної довговічності елементів конструкцій енергетичних систем потребує комплексного підходу, що поєднує теоретичні, експериментальні та числові методи. Точне визначення критичних навантажень, раціональний вибір перерізів та урахування втомного фактора є основою підвищення ресурсу обладнання.

Список джерел посилання:

1. Perelmuter A. V., Yurchenko V. V., Peleshko I. D. Optimization cross-sectional dimensions for cold-formed steel lipped channel columns. *Strength of Materials and Theory of Structures*. Київ: КНУБА, 2022. Вип. 108. С.156–170.
2. Рябцев І. О., Книш В. В., Бабінець А. А. та ін. Втомна довговічність зразків після зносостійкого виготовного та ремонтного наплавлення. *Автоматичне зварювання*. 2020. № 9. С.28–35.
3. I. Ryabtsev, V. Knysh, A. Babinets. Fatigue life of steel 40Kh specimens after wear-resistant surfacing with a sublayer of low-carbon steel. *The Paton Welding Journal*. 2021. № 3. С.2–8.

Наукове видання

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ

Матеріали

*VIII Всеукраїнської науково-практичної
інтернет-конференції
04 грудня 2025 року*

*Відповідальна за випуск: Ю. В. Левченко, канд. техн. наук,
доцентка, доцентка кафедри механічної та електричної інженерії
ПДАУ.*

Редактор: Ю. В. Левченко.

Дизайн і верстка: Ю. В. Левченко, С. В. Попов.

Адреси для листування:

36003, Україна, Полтавська обл., м. Полтава, вул. Сковороди, 1/3,
Полтавський державний аграрний університет,
кафедра механічної та електричної інженерії;
e-mail: mei@pdau.edu.ua

**Редакційна колегія не несе відповідальності
за зміст представлених матеріалів**

