

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства та природокористування
Навчально-науковий механічний інститут

Міжнародна науково-практична конференція
«ІННОВАЦІЇ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ,
МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ»
ЗБІРНИК ТЕЗ
9–10 квітня 2025 року



Рівне 2025

УДК 330.341.1:338.43:621:656.13

I-66

У збірнику представлено доповіді учасників міжнародної науково-практичної конференції «Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті» в яких було розглянуто наукові досягнення в галузях агроінженерії, агрономії, ветеринарії, машинобудуванні, транспортних перевезень та різних напрямків виробництва.

ISBN 978-966-327-628-1

Редакційна колегія:

Савіна Н.Б., проректорка з наукової роботи та міжнародних зв'язків Національного університету водного господарства та природокористування, д.е.н., професорка;

Сорока В.С., проректор з науково-педагогічної та навчальної роботи Національного університету водного господарства та природокористування, к.с.-г.н., доцент;

Марчук М.М., директор навчально-наукового механічного інституту Національного університету водного господарства та природокористування, к.т.н., професор;

Голотюк М.В. к.т.н., доцент кафедри агроінженерії Національного університету водного господарства та природокористування;

Бундза О.З. к.т.н., доцент кафедри агроінженерії Національного університету водного господарства та природокористування;

Шимко А.В. к.т.н., доцент кафедри агроінженерії Національного університету водного господарства та природокористування.

*Рекомендовано вченою радою Національного університету водного господарства та природокористування.
Протокол № 5 від 30 травня 2025 р.*

Відповідальний за випуск:

Налобіна О. О., д.т.н., професорка, завідувачка кафедри агроінженерії Національного університету водного господарства та природокористування.

I-66 Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті : зб. тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 9–10 квітня 2025 року. [Електронне видання]. – Рівне : НУВГП, 2025. – 201 с.

УДК 330.341.1:338.43:621:656.13

ISBN 978-966-327-628-1

© Національний університет водного господарства та природокористування, 2025

НАУКОВА СЕКЦІЯ 1
АГРАРНІ НАУКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВО

УДК 631.356

РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ В КАРТОПЛЕКОПАЧАХ

SOLUTIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF SEPARATION OF POTATO BULK IN POTATO HARVESTERS

Бабій Андрій, Бойко Віталій, Головецький Іван

*Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, 46001*

Проблема ефективної сепарації картопляного вороху у картоплекопачах є однією з найважливіших у процесі механізованого збирання врожаю. Вона полягає у необхідності якісного відокремлення бульб від ґрунту та його грудок, а також рослинних решток без пошкодження самих картоплин. Вирішення цього питання ускладнюється через різноманітність умов роботи, зокрема типу ґрунту, його вологості, ступеня засміченості та особливостей сорту картоплі [4].

Тут потрібно балансувати між продуктивністю робочого органу та можливістю пошкодження бульб. З одного боку, занадто інтенсивні методи сепарації можуть призвести до значного механічного пошкодження бульб, з іншого боку, надто «м'які» системи очищення можуть бути недостатньо ефективними, що призведе до залишків ґрунту та домішок у зібраному врожаї. Ефективність процесу сепарації залежить не лише від конструкції картоплекопача, а й від налаштувань його робочих органів, правильного вибору кінематичних параметрів. Оптимізація регулювання цих параметрів дозволяє забезпечити кращий результат без шкоди для врожаю.

Для ефективної сепарації картопляного вороху застосовують різні робочі органи, кожен із яких має свої особливості та підходить для певних умов збирання. Найефективнішими вважаються ті механізми, які здатні якісно відокремлювати бульби від ґрунту та домішок без пошкодження врожаю.

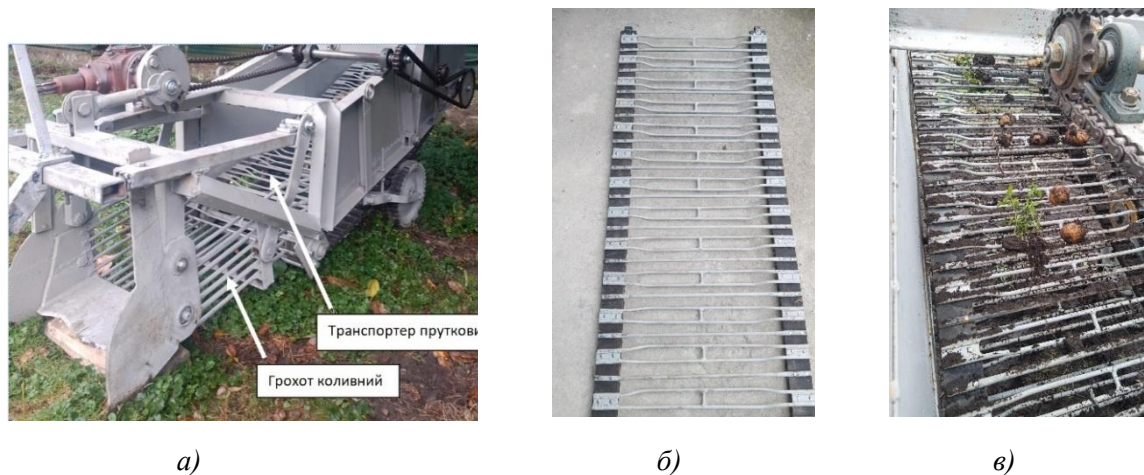
Одними з найпоширеніших очисників є грохотні транспортери. Такі системи добре працюють на сухих і легких ґрунтах, проте можуть бути менш ефективними на вологих або глинистих, де грудки ґрунту важко відокремити від картоплі.

Роторні очисники використовуються для додаткової сепарації та видалення великих грудок ґрунту й рослинних залишків. Завдяки активному впливу на ворох, роторні системи можуть підвищувати ефективність сепарації, але при неправильному налаштуванні можуть пошкоджувати бульби.

Ще одним поширеним варіантом є елеваторні транспортери, що представляють собою систему стрічок або ланцюгів із закріпленими на них різних типів прутками. Такі механізми дозволяють більш делікатно транспортувати картоплю, мінімізуючи її механічне пошкодження. Особливістю такого транспортера є його здатність працювати в умовах високої вологості або на в'язких ґрунтах, де грохотний тип може забиватися і втрачати ефективність. Проте цей варіант не завжди забезпечує достатню очистку від ґрунту, що може вимагати додаткових очисних систем на виході.

Найпрактичнішою системою очищення, на наше переконання, є комбіновані системи, які поєднують кілька методів очищення, і забезпечують найвищу ефективність.

Наприклад, у системі експериментального зразка картоплезбиральної машини використано комбіновану систему, що складається з грохотного транспортера у складі вібраційного лемеша з активними боковинками (рис. 1, а) [1–3] та пруткового транспортера з тандемними прутками (рис. 1, б).



а)
б)
в)
Рис. 1. Загальний вигляд дослідного зразка картоплекопача (а)
та його пруткового транспортера (б, в)

Прутковий транспортер із тандемними прутками у виконанні, що вказано на рис. 1, б, в має низку суттєвих переваг у порівнянні зі звичайними транспортерами такого типу, що робить його ефективним рішенням для сепарації картопляного вороху.

Однією з ключових переваг є покращене просіювання ґрунту завдяки конструктивним особливостям. Тандемне розташування прутків сприяє більш рівномірному розподілу вороху та забезпечує якісніше видалення землі навіть у складних умовах, наприклад, на вологих або глинистих ґрунтах. Завдяки цьому картопля очищується та ефективніше транспортується, що зменшує потребу в додаткових системах очистки.

Ще однією важливою перевагою є зниження рівня механічного пошкодження картоплі. Завдяки конструктивно виконаним западинам тандемних прутків, вони мають вищу здатність до транспортування частинок, завдяки чому можна знизити швидкість руху полотна, що суттєво зменшить співударення картоплин з елементами робочого органу, а відповідно зменшить і пошкодженість бульб без втрати транспортувальної здатності. Це особливо важливо для збирання сортів картоплі з тонкою шкіркою або продукції, призначеної для тривалого зберігання, оскільки пошкоджені бульби швидше псуються.

Крім того, транспортер із тандемними прутками має високу пропускну здатність. Завдяки кращому розподілу навантаження та зниженню ефекту забивання землею, він має менше обмежень щодо швидкісного режиму, а тому у кінематичному зв'язку з поступальною швидкістю агрегату дозволяє підвищити його продуктивність загалом.

Таким чином, запропонована конструкція пруткового транспортера із тандемними прутками є одним із раціональних рішень у технології збирання картоплі, оскільки поєднує в собі високу ефективність сепарації, делікатне поводження з бульбами, збільшену продуктивність та універсальність у використанні.

Література

1. Babii A., Holovetskyi I., Boiko V. Analysis of the behavior of potato bearing layer particles on the oscillating plane of the potato plant ploughshare. *Scientific Journal of TNTU (Tern.)*. 2024. Vol. 116, no 4. Pp. 78–89.
2. Бабій А. В., Головецький І. В., Гладь Ю. Б. Дослідження кінематичних параметрів вібраційного лемеша картоплекопача з використанням комп'ютерної програми. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин : загальнодержавний міжвідомчий наук.-техн. зб. ЦНТУ*, 2023. С. 227–236.
3. Бабій А. В., Головецький І. В., Гладь Ю. Б., Андрейків О. Є., Гамрач В. О. Вібраційний леміш картоплекопача: пат. 156320 Україна: А01D 21/00 (2024.01); заявл. 09.01.2024, u202400129; опубл. 05.06.2024, Бюл. № 23.
4. Головецький І. В., Бабій А. В. Конструктивні особливості та ефективність роботи міні картоплекопачів. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39), ч. II. С. 134–143.

УДК 631.317:631.319.4

БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ РОТАЦІЙНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН

MULTIFUNCTIONAL ROTARY WORKING BODY

Бабій Андрій, Вовк Іван, Гладько Юрій

*Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, вул. Руська, 56,
м. Тернопіль, 46001*

При вирощуванні різних культур, зокрема картоплі, в період посадки спостерігається значна грудкуватість поверхні поля внаслідок вологої, а потім посушливої весняної погоди, восени ж спостерігається достатньо велике забур'янення посівної площі, що утруднює процес збирання культури. Для усунення цих недоліків у господарстві повинні бути машини чи механізми, які, наприклад, здатні фрезерувати поверхню ґрунту та механізми для мульчування рослинних решток. Мати дві такі машини у господарстві викликає певні фінансові труднощі, особливо, якщо мова йде про невеликі господарства. Тому розробка універсального та багатофункціонального робочого органу, який би поєднував ці дві технологічні операції є досить актуальним [2].

Запропонована конструкція ротаційного робочого органу являє собою механізм, призначений для виконання ефективного поверхневого обробітку ґрунту та після нескладного переобладнання – виконує роль мульчувача. Основу конструкції складає приводний вал 1, на якому жорстко закріплені диски 2 [1]. Кожен з дисків містить спеціальні отвори 3, призначені для кріплення ножів 4, які забезпечують механічний вплив на ґрунт, рисунок.

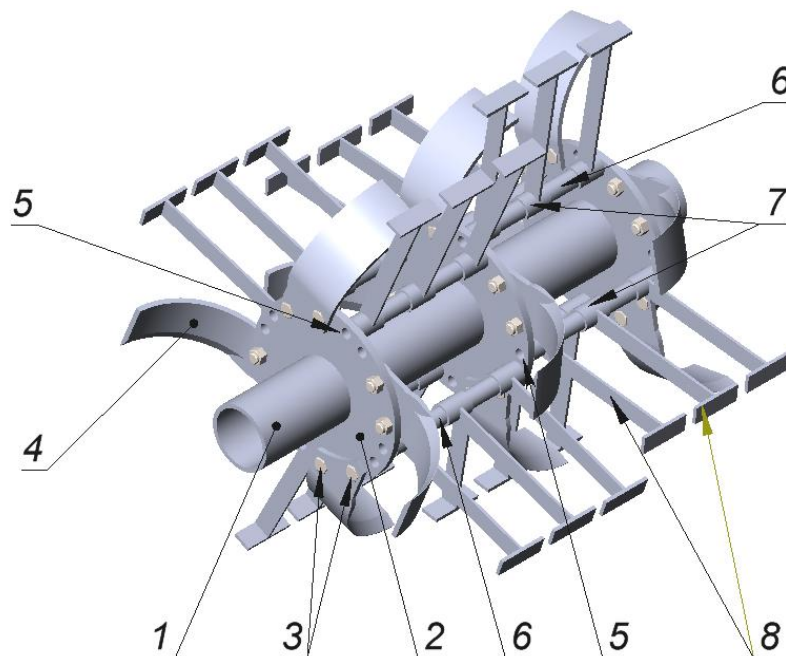


Рисунок. Загальний вигляд ротаційного робочого органу

Окрім основних отворів 3, на дисках 2 передбачені додаткові отвори 5, в яких встановлені осі 6. Ці осі виконують функцію шарнірного з'єднання з втулками 7, що оснащені бильними молотками 8.

За допомогою карданної передачі крутний момент від ВВП енергозасобу передається на приводний вал 1, а з нього – на закріплені диски 2 та ножі 4. У процесі роботи диски

обертаються з частотою приблизно 300 об/хв, що забезпечує стабільний і рівномірний контакт ножів із ґрунтом.

Робочий процес ротаційного органу аналогічний до принципу роботи фрезерного барабана, який здійснює поверхнєве фрезерування ґрунту. Під час обертання ножі 4 по чергово входять у контакт із ґрунтом, вирізаючи тонкі стружки та здійснюючи механічний обробіток поверхневого шару.

Багатофункціональність ротаційного робочого органу проявляється у його здатності виконувати різні технологічні операції, зокрема мульчування рослинних решток. Для реалізації цієї функції базовий ротаційний робочий орган дообладнується додатковими осями 6, які можуть встановлюватися симетрично – одна або дві пари між сусідніми дисками 2. Осі фіксуються у додаткових отворах 5 дисків 2, а на них, за допомогою шарнірного з'єднання, розташовуються втулки 7, оснащені бильними молотками 8.

У процесі роботи система починає обертатися разом із дисками 2, що призводить до обертального руху осей 6, на яких закріплені бильні молотки 8. Під дією відцентрової сили молотки набувають радіального положення, що збільшує ефективний діаметр ротаційного робочого органу. Збільшення цього діаметра, у свою чергу, підвищує колову швидкість крайніх точок молотків 8, що є важливим фактором для ефективного мульчування.

Для забезпечення необхідних параметрів роботи мульчувача рекомендується використовувати високі частоти обертання вала відбору потужності (ВВП), наприклад 1000 об/хв і більше, якщо дозволяють характеристики енергетичного засобу. За необхідності можна змінювати передаточне відношення передавального механізму або застосовувати мультиплікатори, що підвищують швидкість обертання робочого органу. Оптимальна колова швидкість крайніх точок бильних молотків повинна становити 25–35 м/с, що відповідає частоті обертання ротаційного робочого органу в межах 1000 об/хв. Ці параметри є допустимими з огляду на конструкційні особливості та габаритні розміри багатофункціонального робочого органу [3].

При взаємодії бильних молотків 8 з рослинними рештками можливе їх відхилення у разі неможливості одразу здійснити зрізання. Завдяки шарнірному з'єднанню на осях 6 молотки можуть змінювати своє положення без ризику механічного руйнування. Якщо рослинні рештки мають грубі та жорсткі стебла, процес мульчування доповнюється роботою ножів 4, які частково пошкоджують, розплющують або зменшують довжину стебел, полегшуючи подальше подрібнення молотками 8.

Таким чином, запропонована конструкція ротаційного робочого органу забезпечує його багатофункціональність, що дозволяє виконувати як операції фрезерування ґрунту, так і мульчування рослинних решток з мінімальними змінами у конструкції. Це значно підвищує експлуатаційну ефективність машини, у складі якої використовується цей ротаційний робочий орган, забезпечуючи високу продуктивність та надійність роботи у різних агротехнічних умовах.

Література

1. Бабій А. В., Вовк І. В., Бабій В. А. Обґрунтування параметрів вала багатофункціонального ротаційного робочого органу. *Підвищення надійності і ефективності машин, процесів і систем. Improving the reliability and efficiency of machines, processes and systems* : матеріали VI Міжнародної науково-практичної конференції, 17–19 квітня 2024 р. Кропивницький : ЦНТУ, 2024. С. 9–10.

2. Вовк І. В., Бабій А. В. Обґрунтування доцільності у проектуванні багатофункціонального ротаційного робочого органу. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 6–7 грудня 2023) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя та ін. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2023. С. 96–97.

3. Вовк І. В., Бабій А. В., Малевич Н. Ю., Новацький П. І. Обґрунтування частоти обертання вала ротаційного робочого органу. *Актуальні задачі сучасних технологій* : зб. тез доповідей XIII міжнар. наук.-практ. конф. Молодих учених та студентів, (Тернопіль, 11–12 грудня 2024) / М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя та ін. Тернопіль : ФОП Паляниця В. А., 2024. С. 80–81.

УДК 621.926.4:631.563

КЛАСИФІКАЦІЯ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ

CLASSIFICATION OF DISC MILLS

Білоус Ілля

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, Україна, м. Дніпро

The paper addresses the issue of classifying disc mills used in various fields—from agriculture and bioenergy to material recycling. It was found that the lack of a unified classification approach complicates equipment selection and prevents the comparison of research results. A classification of disc grinders is proposed based on design features, operating principle, mode of operation, and application domain.

Дискові подрібнювачі є поширеним класом машин для подрібнення матеріалів, що застосовуються в різних галузях – від сільського господарства і біоенергетики до гірничої справи та переробки відходів. Незважаючи на широкий спектр застосувань, поняття «дисковий подрібнювач» охоплює різні за конструкцією та принципом дії пристрої.

Подрібнення матеріалів є ключовим етапом у багатьох технологічних процесах. Наприклад, у біоенергетиці подрібнення деревної біомаси підвищує ефективність спалювання чи ферментації, у тваринництві – помел зерна впливає на засвоюваність кормів, у гірничій справі – дроблення руди є першим кроком збагачення. Дискові подрібнювачі різних типів широко використовуються для перелічених завдань. Проте відмінності в конструкції (кількість і форма дисків, наявність ножів, режими роботи) обумовлюють різні експлуатаційні показники – продуктивність, енергоефективність, крупність продукту тощо. Відсутність єдиного підходу до класифікації ускладнює вибір оптимального обладнання та гальмує узагальнення результатів наукових досліджень.

На основі аналізу різних джерел можна визначити кілька аспектів загальної проблеми класифікації дискових подрібнювачів, які раніше не були належно вирішені. По-перше, відсутня єдина термінологічна база і чіткі критерії, що дозволяють віднести той чи інший апарат до категорії дискових подрібнювачів. У літературі різні автори можуть по-різному називати схожі за принципом дії машини: наприклад, одні й ті ж пристрої можуть згадуватися як «disk mill», «disk chopper», «disk shredder» тощо. Необхідно визначити ключові конструктивні ознаки (наявність диска як основного робочого органу, спосіб різання чи тертя) для чіткого відмежування дискових подрібнювачів від інших типів (молоткових, барабанних, валкових і т.д.).

По-друге, неузагальненими залишаються питання класифікації за функціональним призначенням. Існує перелік типових сфер використання (біомаса, корми, мінеральні матеріали, лабораторні прилади), але нема систематичного порівняння, які спільні риси мають дискові подрібнювачі у цих різних сферах і чим вони відрізняються. Невирішеним залишається питання узгодження класифікації за галуззю застосування з класифікацією за конструктивно-технологічними ознаками. Зокрема: чи є універсальні критерії (такі як число дисків, схема їх взаємодії, швидкісний режим), що дозволяють розділити всі дискові подрібнювачі на підкласи незалежно від матеріалу, який вони переробляють?

По-третє, практично не висвітлено в літературі питання переходу від лабораторних і малих дискових подрібнювачів до промислових масштабів. Невідомо, чи можливо масштабувати принцип двох дисків (як у лабораторному дисковому подрібнювачі твердих матеріалів) до промислового рівня, або оптимальною є інша конфігурація (наприклад, кілька пар дисків, секційний принцип тощо). Ця частина проблеми – пошук конструктивних рішень для підвищення продуктивності дискових подрібнювачів – залишається відкритою.

Дослідження Spinelli та ін. [1] порівнюють дискові й барабанні тріскорізи в умовах польової експлуатації. Було виявлено, що дискові подрібнювачі мають менше енергоспоживання, але менш ефективні при переробці мішаної сировини, такої як гілки й хмиз.

У біоенергетиці дискові тріскорізи використовуються для деревини, забезпечують тріску 2–5 см. Вони зазвичай мають масивний диск з декількома ножами, що обертається на високій швидкості, і призначені для подрібнення колод та гілок. Такі подрібнювачі мають високу енергоефективність при обробці однорідної деревини, особливо в стаціонарних умовах [2].

Для соломи застосовують багатоножові диски, які мають дрібні ножі або зубці для рваного подрібнення волокнистої маси. Вони встановлюються на вали з кількома дисками та забезпечують рівномірне подрібнення стеблових рослин, таких як кукурудза або пшениця, з можливістю регулювання довжини різання. Збільшення кількості різальних елементів та оптимізація їх форми покращує ефективність обробки стеблової маси [3].

У кормовиробництві дискові млини ефективні для зерна, даючи продукт 0,2–1 мм. Диски зазвичай металеві, з радіальними або концентричними канавками/насідками на поверхні. Зерно подається по центру, розтирається між дисками і виходить по периферії у вигляді крупи або борошна. Регулювання зазору дозволяє змінювати тонкість помелу. Як відзначалося, дискові подрібнювачі ефективно працюють на зернових культурах і забезпечують відносно вузький розподіл часток. У тваринництві поширені промислові дискові дробарки для виробництва комбикормів – вони конкурують з молотковими млинами. Дослідження показують, що корм, змелений на дисковому млині, має інші властивості засвоєння у тварин, ніж на молотковому чи валковому, через відмінності у формі частинок і ступені пошкодження зернових оболонок. Такі млини забезпечують контрольований помел із мінімальними втратами продукту і використовуються як у тваринництві, так і в харчовій промисловості [4]. Крім того, моделі з кількома дисками на спільному валу дозволяють досягти більш рівномірного розподілу часток за розміром та підвищити ефективність процесу за рахунок послідовного багатоетапного подрібнення.

Окрім горизонтально розташованих дисків, існують конструкції вертикальних дискових подрібнювачів, де диски розташовані вертикально і продукт випадає вниз. Такі використовують, зокрема, для певних продуктів харчування (наприклад, при помелі какао чи кавових зерен у промислових масштабах можуть застосовуватися дискові дробарки). Ще одна варіація – гвинтові (спіральні) дискові млини, де один з дисків має спіралеподібні канавки, які транспортують матеріал від центру до країв, забезпечуючи поетапне подрібнення.

Лабораторні дискові подрібнювачі забезпечують високоточний помел твердих матеріалів, таких як руда, мінерали, скло або кераміка. Вони мають змінні диски з високоміцних матеріалів та можливість точного налаштування зазору, що дозволяє отримати репрезентативні проби для подальшого аналізу. Конструкція подрібнювача значною мірою впливає на однорідність фракцій та ступінь зносу ріжучих елементів при роботі з полімерними матеріалами [5].

Універсальні установки поєднують різні режими та змінні диски, що дозволяє адаптувати їх до широкого спектра матеріалів. Такі подрібнювачі використовуються в умовах, де потрібна змінна крупність подрібнення та швидка переналаштування обладнання під різні типи сировини. Прикладом є модель NGU від BHS-Sonthofen, яка, як зазначено в [6], здатна працювати з багатьма типами матеріалів та має модульну конструкцію для швидкої заміни вузлів.

Отже, можна зробити висновок, що дискові подрібнювачі поділяються за (рисунок): конструкцією: однодискові, дводискові, багатодискові; принципом дії: ріжучі, терткові, шредери; швидкістю: низько- і високошвидкісні; за характером процесу: періодичної та безперервної дії; призначенням: біомаса, корми, мінерали, лабораторії, універсальні.

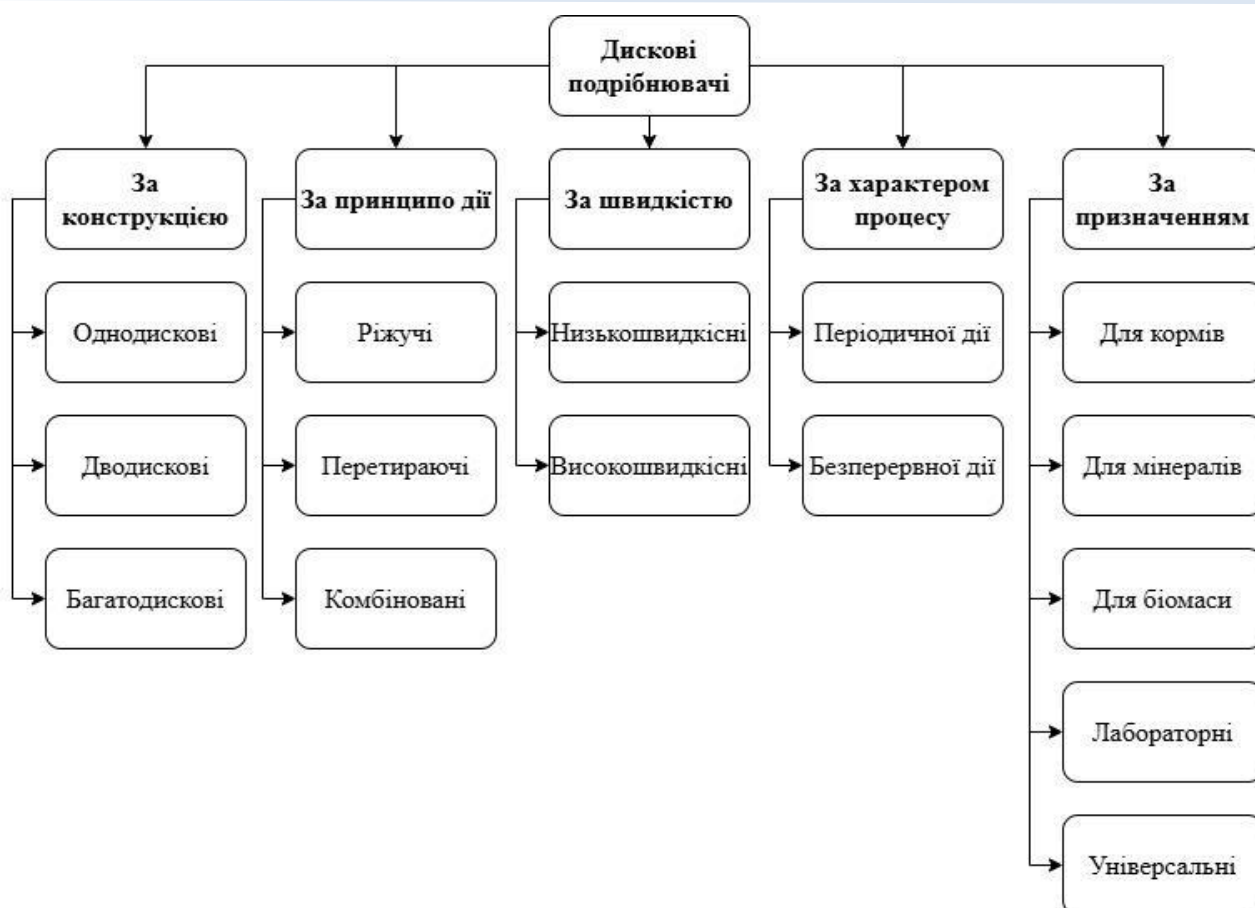


Рисунок. Схема класифікації дискових подрібнювачів

Запропонована класифікація, охоплює конструктивні типи та галузі застосування. Вона дозволяє впорядкувати різноманіття машин, які відносяться до дискових подрібнювачів. Чітке визначення місця кожного типу (за призначенням і конструкцією) полегшує вибір обладнання. Класифікація слугує також базою для стандартизації термінології.

Література

1. Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Comparing the efficiency of drum and disc chippers. *Silva Fennica*. 2013. Vol. 47, No. 2. Article ID 930.
2. Kruszelnicka W., Opielak M., Ambrose K., Pukalskas S., Tomporowski A., Walichnowska P. Energy-dependent particle size distribution models for multi-disc mill. *Materials*. 2022. Vol. 15, No. 17. Article ID 6067. DOI: 10.3390/ma15176067.
3. Łączny D., Kaliniewicz Z., Niemczyk J., Buczek J. Influence of design features of a multi-edge shredder on the effectiveness of shredding lignocellulosic biomass. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2021. Vol. 1047. Article ID 012172. DOI: 10.1088/1757-899X/1047/1/012172.
4. Ruhnke I., Röhe I., Krämer C., et al. The effects of particle size, milling method, and thermal treatment of feed on performance, apparent ileal digestibility, and pH of the digesta in laying hens. *Poultry Science*. 2015. Vol. 94, No. 4. P. 692–699. DOI: 10.3382/ps/pev030.
5. Flizikowski J., Tomporowski A., Bocheński C., Mroziński A., Laskowski R., Rehliś H. Efficient contaminated polymer materials shredding by multi-disc shredder. *Polymers*. 2021. Vol. 13, No. 5. Article ID 713. DOI: 10.3390/polym13050713.
6. BHS-Sonthofen. Universal Shredder NGU. URL: <https://www.bhs-sonthofen.com/> (дата звернення: 01.04.2025).

УДК 636.09+636.7

ОСТЕОСАРКОМА (РАК КІСТОК) У СОБАК

OSTEOSARCOMA (BONE CANCER) IN DOGS

Богословський Матфій, Копчик Ігор

Млинівський технологічно-економічний фаховий коледж, селище Млинів, Дубенський район, Рівненська область, Україна

Osteosarcoma, the most common bone cancer, is highly aggressive, often destroying bone tissue. In dogs, it primarily affects large breeds aged 5–7, typically in limb bones, due to rapid growth and stress. Diagnosis involves history, examination, X-rays, and biopsy, but prognosis remains poor. Treatment includes surgery and conservative methods. No specific prevention exists, though diet and immunity may help.

Серед злоякісних новоутворень кісток остеосаркома займає провідне місце, складаючи близько 85% від їх загальної кількості. Цей тип раку, незалежно від форми, відрізняється високою агресивністю, що проявляється у значних місцевих змінах, зокрема, руйнуванні кісткової тканини. Аналіз наукових публікацій щодо остеосаркоми у собак показує, що, хоча захворювання зустрічається нечасто, його діагностика та лікування залишаються актуальною проблемою через поганий прогноз та майже повну відсутність шансів на виживання.

Остеосаркома - це злоякісна пухлина, яка виходить на поверхню з кісткових клітин. Розвивається майже у всіх тварин окрім тих які несприятливі (Голий землекоп, слон, вівці, кажани, аксолотлі).

Частіше всього хворіють тварини великого розміру це зумовлено високою швидкістю росту кісток через що збільшується шанс що з'явиться патологічна клітина і імунітет її не помітить. Також іде велике навантаження на кістки, через що вони пошкоджуються і є шанс що під час відновлення з'явиться патологічна клітина.

Частіше всього остеосаркома у великих тварин з'являється на кінцівках через велике навантаження на них і їх швидкий ріст. У малих же тварин частіше остеосаркома з'являється на осевих кістках (хребет, таз, лопатки), це, в свою чергу, зумовлено тим, що малі тварини більше і швидше розвиваються в області спини, і навантаження на кінцівки значно менше, а також хребет малих тварин частіше піддається мікротравмам і навантаженню.

Остеосаркома, що зустрічається у 8% тварин з пухлинами, найчастіше діагностується у собак великих та гігантських порід у віці 5–7 років. Характерною локалізацією пухлини є метафізи довгих трубчастих кісток кінцівок, особливо дистальна частина променевої кістки, проксимальна ділянка плечової кістки та дистальні відділи стегнової та гомілкової кісток. Співвідношення ураження кінцівок до осевого скелету залежить від розміру собаки.

Діагностика проводиться на підставі анамнезу, зовнішнього огляду, пальпації, рентгену, біопсії та біохімії крові. Зовнішній огляд дозволить побачити зовнішні зміни а на підставі пальпації і анамнезу можна буде поставити первинний діагноз. Рентген дозволить побачити кістки і пухлини, а біопсія і біохімія дозволить поставити вторинний, або ж кінцевий діагноз.

Клінічні ознаки це ураження кісток, а саме болючість в кінцівках, кульгавість, деформація ураженого місця, асиметрія, нервові розлади, анемія. Також будуть видимі зміни на кістках (округлі, овальні, а при гострих формах вони можуть ставати гострими).

Для лікування використовують консервативний та оперативний методи.

Оперативний метод включає в себе ампутацію кінцівки (видалення кінцівки хірургічним втручанням), лімб-спаринг (хірургічне втручання, яке дозволить зберегти кінцівку), резекцію пухлини (часткове видалення кістки).

А консервативний включає в себе хіміотерапію (яка дозволить зупинити рак і вбити його до операції, або попередити повторну появу раку після операції), променеву терапію (використання іонізуючого випромінювання в конкретну точку для локалізації і «вбиття» пухлини), імунотерапію (підвищення імунітету для запобігання повторного прояву і появи пухлин).

Як такої профілактики для запобігання раку немає. Можна врегулювати годівлю, та збалансувати раціон. Також з поради є підвищення імунітету за для того, щоб імунна система знаходила патогенні клітини раніше ніж вони почнуть неконтрольовано розвиватись і рости.

І також цікавий факт – оскільки голі землекопи не піддатливі до раку, то їх кров і їх самих досліджують для того, що б винайти ліки від раку. Наше тіло і тіло тварин кожен хвилину вбиває тисячі патогенних клітин які є раковими. Мечехвости – одні з самих давніх морських істот, які мають синю кров і жало, які ще жили до людства і часів динозаврів, також не здатні хворіти на рак.

Література

1. Ветеринарна онкологія : навч. посіб. / за ред. І. І. Ібатулліна. Київ : НУБіП України, 2018. 320 с.
2. Григор'єва Н. О. Діагностика та терапія остеосаркоми у домашніх тварин: огляд сучасних методів. *Вісник проблем біології і медицини*. 2020. Вип. 2 (156). С. 112–118.
3. Коваленко О. В. Клініко-морфологічний аналіз остеосарком у собак великих порід. *Ветеринарна медицина*. 2017. № 103. С. 78–85.

УДК 631.348(043.3)

УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИНОЮ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ВИСОКОРОСЛИМИ БУР'ЯНАМИ

IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF THE MACHINE FOR CONTROLLING TALL WEEDS

Бундза Олег, Тимчук Богдан, Кулеша Віталій

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Боротьба з бур'янами є серйозним викликом як для аграріїв, так і для конструкторів сільськогосподарської техніки. Для цього за можливості застосовують скошування бур'янів, чи більш рентабельне, обприскування, особливо, коли потрібно забрати високорослі бур'яни з-поміж культурних рослин [1; 2]. Проте, метод боротьби з бур'янами шляхом класичного обприскування має і суттєві недоліки: втрати гербіциду в ґрунт, що сягають 50–70%, втрати на знесення вітром, потрапляння на культурні рослини. Тому набуває поширення контактний спосіб боротьби з високорослими бур'янами реалізований в таких машинах, як наприклад Rotowiper LMU-290 [3]. Проте вартість цих машин в Україні стримує їх поширення у агрогосподарствах, особливо невеликих.

Тому була розроблена конструкція машини для боротьби з високорослими бур'янами, яка була б доступна для більшості агрогосподарств (рис. 1).

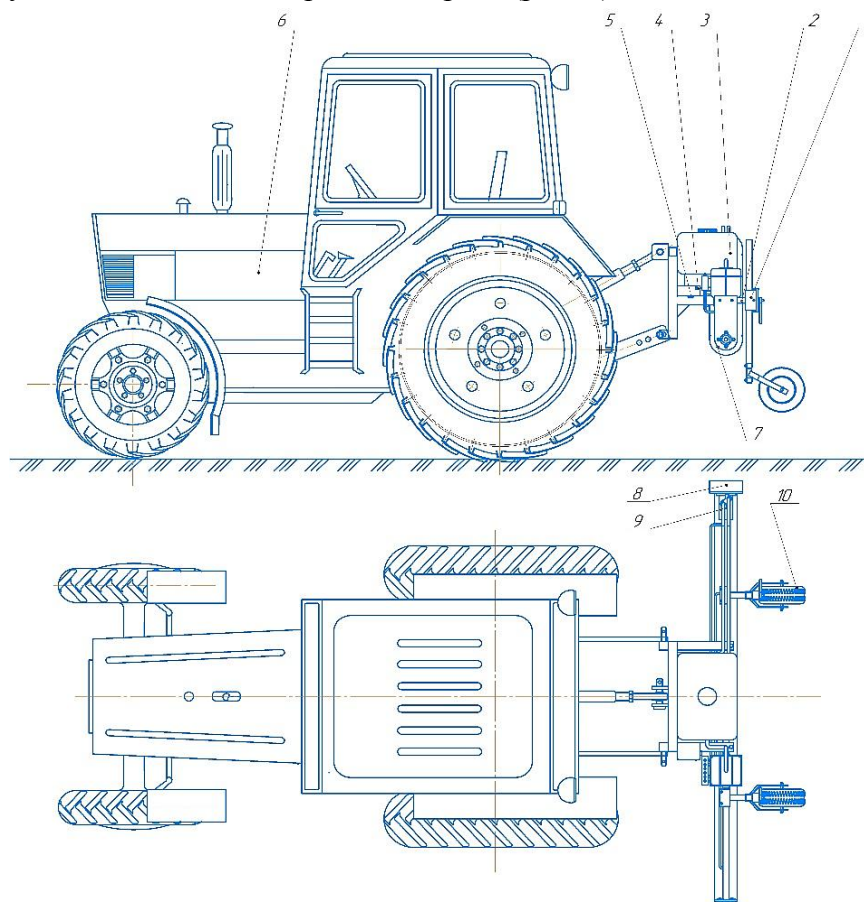


Рис. 1. Машина для боротьби з високорослими бур'янами: 1 – регулюючий механізм; 2 – рама; 3 – бак для гербіциду; 4 – блок керування; 5 – датчик стабілізації висоти; 6 – трактор; 7 – барабан; 8 – привод барабану; 9 – гідромотор приводу барабану; 10 – опорне колесо

Окрім реалізованого способу контактного нанесення дана машина оснащена покращеною автоматизованою системою керування, яка полегшить керування робочим органом.

Апаратна частина системи реалізована на базі мікроконтролера AtMega328P. Чутливим елементом виступає ультразвуковий датчик HC-SR04. [3].

Система керування машини виконана електро-гідравлічною і має ряд змін:

1. привод барабану застосовано на гідромоторі з керуванням від електрогідророзподільника;
2. підтримка необхідної висоти встановлення барабану здійснюється штатним гідроциліндром навіски автоматизовано за допомогою електрогідророзподільника та модуля керування та індикації;
3. у кабіні трактора розміщено блок керування та індикації.

Відповідно до сформульованого завдання розроблена система керування, блок-схема якої показана на рис. 2.

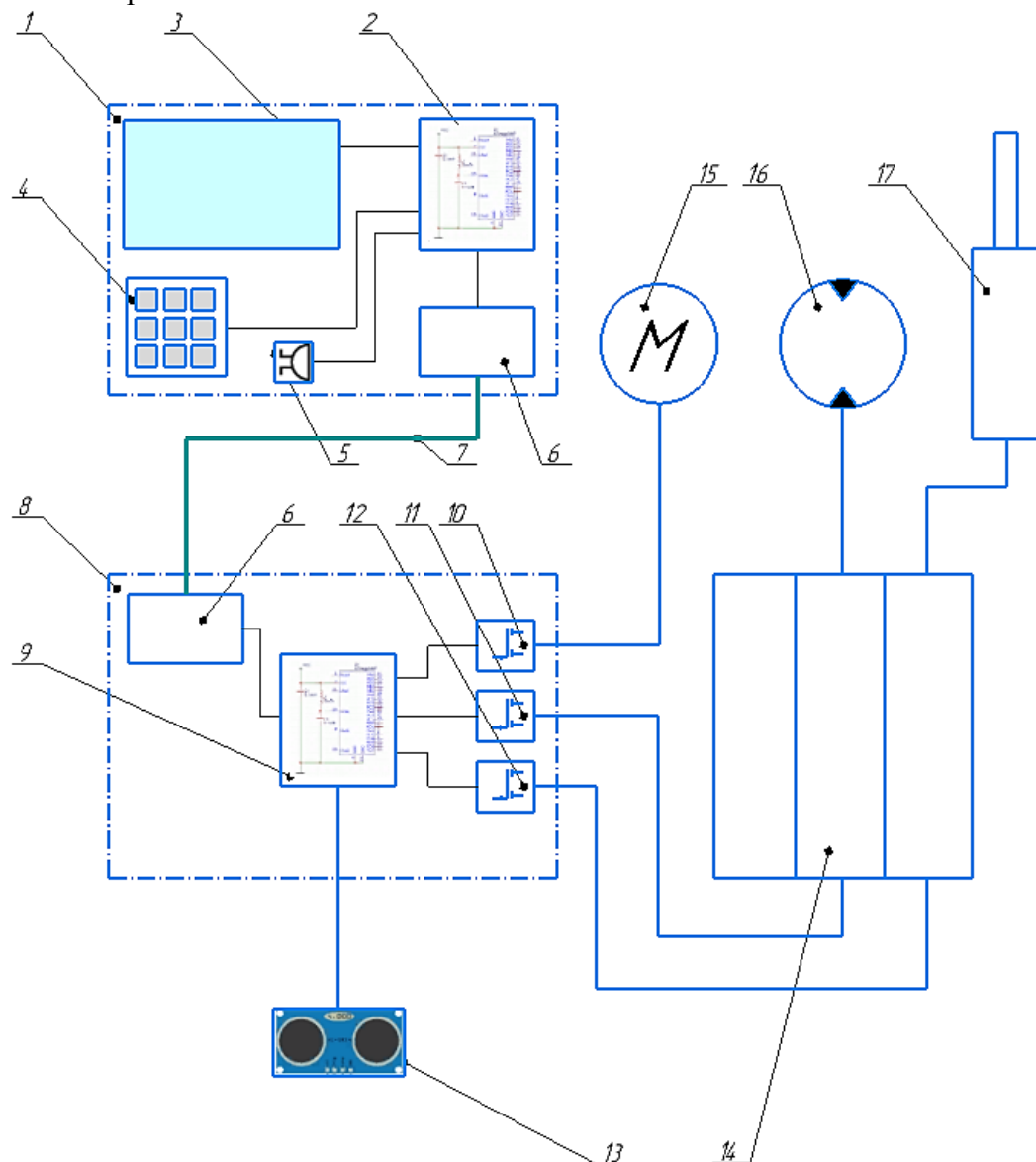


Рис. 2. Блок-схема покращеної системи керування робочим органом

Система керування включає в себе два окремі блоки:

1. блок керування та індикації 1, що встановлюється у кабіні трактора;

2. блок силового керування 8, що встановлюється на рамі обладнання так, щоб його ультразвуковий датчик висоти 13 був направлений до поверхні ґрунту під прямим кутом.

Обидва модулі побудовані на базі мікроЕОМ 2 та 9 (далі мікроконтролера) AtMega328P.

Блок керування та індикації містить також і TFT-дисплей 3, клавіатуру 4 та звуковий сигналізатор 5.

Блок силового керування 8 сприймає сигнали від датчика висоти 13 HC-SR04, і керує електродвигуном подачі робочого розчину 15 та гідромотором приводу барабану 16 і гідроциліндром навіски 16 за допомогою силових ключів 10–12 та електрогідророзподільника 14.

Зв'язок між блоками керування та індикації 1 та силового керування 8 забезпечується по CAN-інтерфейсу 7 за допомогою двох модулів 6 CAN-шини, яка є дуже поширена в сільськогосподарській техніці.

Подальші дослідження будуть спрямовані на розширення функціоналу пропонованої системи керування та обмін даними з іншими системами сучасних тракторів. Це сприятиме економії енергоресурсів та зменшенню забруднення навколишнього середовища, що відповідає цілям сталого розвитку в Україні.

Література

1. Lemus R., Mowdy M., Davis A. Herbicide evaluation for Smutgrass control using the weed wiper method. *Journal of the American Society of Farm managers and rural appraisers*. 2013. Vol. 6(1). P. 59–63.

2. Розробка технологічних процесів та засоби механізації для знищення бур'янів методом контактного нанесення гербіцидів на луках та полях просапних культур: звіт по НДР (заключний) / кер. Л. Пйонтик ; викон.: А. Спісак та ін. ; Західний філіал Національного наук. центру «ІМЕСГ». Львів, 2004. 96 с. № ДР 0102V000529. Інв. № 35426055.

3. LMU series Rotowiper. URL: <https://nichollsmachinery.com.au/listing/lmu-series-rotowiper/> (дата звернення: 25.03.2025).

УДК 631.372.5:631.171

АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ТРАКТОРІВ У РОСЛИННИЦТВІ

AGRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE APPLICATION OF TRACTORS IN CROP CULTIVATION

Валецька Оксана, Маринюк Володимир, Коваль Ілона

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Сучасне рослинництво не може існувати без використання тракторної техніки, яка є основною рушійною силою у виконанні широкого спектра технологічних операцій – від обробітку ґрунту до збору врожаю. Проте, поряд із підвищенням ефективності сільськогосподарського виробництва, інтенсивне використання тракторів несе певну екологічну загрозу, яка потребує науково обґрунтованої оцінки та регулювання. Агроекологічна оцінка дозволяє виявити як позитивні, так і негативні сторони експлуатації тракторів, та запропонувати шляхи для зниження навантаження на природне середовище.

У ході дослідження розглянуто основні впливи тракторної техніки на агроєкосистеми. Одним із головних негативних чинників є ущільнення ґрунту, що виникає під дією маси техніки, особливо за умови інтенсивного проходження по одному й тому ж сліду. Ущільнення погіршує водно-повітряний режим ґрунту, обмежує розвиток кореневої системи рослин, зменшує біологічну активність ґрунтової мікрофлори, що, у свою чергу, впливає на родючість. Також важливим екологічним аспектом є забруднення навколишнього середовища викидами відпрацьованих газів, особливо у разі використання тракторів з застарілими двигунами внутрішнього згоряння. Шкідливі компоненти викидів, зокрема оксиди азоту, вуглеводні, сажа та чадний газ, мають негативний вплив на атмосферу, ґрунт і здоров'я працівників [1; 2].

Дослідження показали, що екологічно найбільш прийнятними є трактори, обладнані сучасними двигунами, що відповідають європейським екологічним стандартам (Еуро-5 і вище), та працюють на альтернативних видах палива, зокрема біодизелі. Крім того, важливо забезпечити оптимальні режими експлуатації техніки, зокрема уникати перевантаження, забезпечувати технічну справність агрегатів та своєчасне технічне обслуговування. Ще одним важливим напрямом є впровадження систем точного землеробства, які дозволяють раціонально управляти рухом техніки по полю, зменшуючи кількість проходів і, відповідно, вплив на структуру ґрунту.

Також варто зазначити, що впровадження сучасних технологій ґрунтообробітку, таких як мінімальний чи нульовий обробіток, дає змогу значно зменшити інтенсивність використання тракторів та покращити агроекологічний стан полів. Крім цього, застосування тракторів з гусеничними рушіями, на відміну від колісних, дозволяє зменшити питомий тиск на ґрунт та уникнути його надмірного ущільнення [3].

Шляхи зменшення негативного екологічного впливу включають кілька стратегічних напрямів. Насамперед – це модернізація технічного парку. Сільськогосподарські підприємства мають поступово відмовлятися від експлуатації застарілих тракторів, які не відповідають сучасним екологічним нормам. Використання нових моделей, що обладнані фільтрами тонкого очищення вихлопних газів, каталітичними нейтралізаторами та двигунами з оптимізованими показниками витрати пального, значно знижує рівень шкідливих викидів в атмосферу.

Також важливим шляхом є запровадження систем точного землеробства. Завдяки GPS-навігації, автоматичному керуванню та картуванню полів можна мінімізувати кількість

проходів техніки по одному й тому ж місці, що суттєво зменшує ущільнення ґрунту. Окрім цього, слід дотримуватися рекомендованих режимів обробітку ґрунту та швидкостей руху агрегатів, аби уникнути надмірного споживання пального і зносу вузлів техніки.

Скорочення кількості обробітків також є ефективним заходом. Це можна досягти шляхом впровадження комбінованих агрегатів, які за один прохід виконують кілька операцій (наприклад, культивуацію, вирівнювання й внесення добрив). Такі рішення зменшують навантаження на ґрунт і скорочують витрати ресурсів. Крім того, впровадження органічного землеробства або щадних систем обробітку ґрунту, таких як strip-till, також позитивно впливає на екологічну ситуацію.

Приклади оцінки застосування тракторів у рослинництві можна знайти в ряді досліджень. Наприклад, результати випробувань тракторів John Deere серії 6R та Fendt Vario у реальних умовах польових робіт показали, що завдяки автоматичній трансмісії та налаштуванням режимів роботи двигуна вдалося знизити витрати пального на 10–15% порівняно з базовими моделями. Окрім того, встановлення систем контролю ущільнення ґрунту дозволяє оперативно коригувати навантаження на колеса або змінювати маршрути руху агрегатів.

У господарствах, що застосовують диференційовану обробку та обприскування, спостерігається скорочення витрат на пальне до 20%, а також покращення структури ґрунту, що в довгостроковій перспективі забезпечує стабільно високий рівень урожайності. Це свідчить про важливість застосування агроекологічного моніторингу під час експлуатації техніки.

Економічна ефективність екологічно орієнтованих рішень є не менш важливою. Хоча модернізація тракторного парку та впровадження інноваційних технологій потребують значних початкових інвестицій, з часом ці витрати окупаються завдяки зниженню операційних витрат, зменшенню витрат на пальне, зниженню зносу агрегатів і підвищенню врожайності. Наприклад, перехід на сучасні трактори з енергоощадними двигунами може забезпечити економію пального до 30%, а разом з цим – зменшення викидів парникових газів. Більш ефективне використання ресурсів призводить до зниження собівартості продукції, а підтримання належного екологічного стану ґрунтів і навколишнього середовища створює передумови для довгострокового сталого розвитку аграрного сектору. Зокрема, господарства, що впроваджують екологічні практики, часто отримують доступ до міжнародних програм фінансування, сертифікації продукції та експорту на ринки з жорсткими вимогами до якості та екологічності.

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, можна зробити такі висновки. Тракторна техніка, незважаючи на її незамінну роль у рослинництві, чинить значний вплив на навколишнє середовище. Найбільшими загрозами залишаються ущільнення ґрунту та забруднення атмосферного повітря. Проте сучасні технології, системи точного землеробства та енергоощадні машини відкривають широкі можливості для зменшення цього впливу.

Впровадження екологічно орієнтованих рішень у роботі машинно-тракторного парку не лише дозволяє зменшити шкоду для довкілля, а й забезпечує підвищення продуктивності, економічної ефективності та сталості виробництва. Надалі слід активізувати дослідження у сфері агроекологічного моніторингу та підтримувати інноваційні проекти, спрямовані на розвиток екологічної інженерії в аграрному секторі.

Література

1. Балицький О. М. Основи агроекології. К. : Аграрна наука, 2021. 248 с.
2. Голотюк М. В., Голотюк М. В., Пуць В. С. Дослідження впливу ущільнення ґрунту на його основні характеристики. *Сільськогосподарські машини* : зб.наук. ст. Луцьк, 2023. Вип. 49. С. 39–45.
3. Кісіль М. І., Петров Ю. В. Вплив тракторів на ущільнення ґрунтів та способи його зменшення. *Вісник аграрної науки*. 2020. № 7. С. 33–39.

UDC 631.8:631.4

MODELLING THE IMPACT OF BIO-BASED FERTILIZERS ON THE CARBON AND NITROGEN CYCLE IN THE SOIL

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ЗАСТОСУВАННЯ БІОДОБРИВ НА КОЛОБІГ ВУГЛЕЦЮ ТА АЗОТУ В ҐРУНТІ

Valetska Oksana¹, Franko Uwe², Meurer Katharina H. E.³

¹*The National University of Water and Environmental Engineering,
Soborna St, 11, Rivne, 33028 Ukraine,*

²*Helmholtz Centre for Environmental Research GmbH – UFZ,
Theodor-Lieser-Str. 4, 06120 Halle (Saale), Germany*

³*Swedish University of Agricultural Sciences, Almas Allé 8, 750 07 Uppsala, Sweden*

The intensification of agricultural production in recent decades has led to considerable degradation of soil resources globally, with approximately 25% of Ukrainian soils currently classified as degraded [1]. Without the implementation of sustainable and effective actions to address degradation, this figure could rise to 90% by 2050 [2]. These estimates were made prior to the full-scale invasion of Ukraine and likely underestimate the current extent of degradation in affected regions [3].

Soil degradation has a significant impact on soil health, particularly through its effect on soil organic matter (SOM). SOM is a critical indicator of soil quality, influencing numerous chemical, physical, and biological processes. Effective SOM management involves balancing two key ecological processes: the mineralisation of carbon (C) and nitrogen (N) for crop uptake (short-term) and the sequestration of these elements in SOM pools to maintain long-term soil structure and fertility [4]. To maintain soil health and meet future agricultural demands, the application of organic fertilizers plays a central role by enhancing SOM and supporting biogeochemical cycles in the soil ecosystem [5].

Despite the well-documented benefits of organic fertilizers, their application remains significantly lower than that of mineral fertilizers mainly due to economic reasons. Recently, attention has shifted towards the use of bio-based fertilizers (BBFs), as a potential strategy for both nutrient recycling and soil remediation. Several studies have demonstrated that BBFs can significantly increase soil organic carbon (SOC) content, primarily due to increased organic matter inputs from fertilizers and root residues driven by higher yields [6; 7]. However, the type and quality of BBFs are crucial, with solid and carbon-rich formulations showing the most beneficial effects [8]. In this context, the use of modeling and nutrient balance methods offers a valuable tool for evaluating how specific BBFs contribute to soil C and N dynamics and overall soil health.

While the effects of well-characterized fertilizers such as farmyard manure (FYM) are relatively well understood in modelling studies, BBFs derived from diverse feedstocks remain less explored. This knowledge gap poses challenges for parameterizing models, as the nutrient composition and availability in BBFs can differ significantly from those of FYM. The objective of this study was to assess whether the impact of BBF-based fertilization systems on soil C and N dynamics can be effectively modelled, and which balance approach most accurately reflects the real conditions observed in the field.

The study was conducted using data from a field experiment located in the Western Polissya region of Ukraine (Volyn oblast). The field experiment was carried out from 2011 to 2013 on sod weakly-podzolic soil. A range of fertilization treatments was tested: a control (no fertilization), FYM at 30 t/ha, compost-type BBF at three rates (7.5, 15, and 22.5 t/ha), and combinations of organic fertilizers with mineral nutrient inputs ($N_{90}P_{60}K_{120}$). These treatments enabled the

assessment of how different BBF application strategies influence SOM dynamics and nutrient balances.

To simulate C and N cycling in the soil, we applied the CNP model which is based on CCB model [9; 10]. Because the model was originally calibrated for German soils, we adapted it to the Ukrainian context by adjusting model-specific parameters related to mineralization and C and N turnover to reflect local soil and climate conditions and BBF characteristics, in order to reproduce experimental observations. A newly integrated module focusing specifically on C and N balance was also tested to improve the model's applicability to BBF treatments.

The outputs of the calibrated mode were compared with the currently used agronomic approach (AGR), which is based on generalized coefficients derived from long-term experiments and assesses the ability of management systems to maintain SOM based on external nutrient inputs and outputs, primarily in mineral forms. In contrast, the ecological balance approach (modelling) involves two sub-methods: the Demand-Supply Balance (ECL-DSB), which calculates the alignment of crop demand with available nutrient sources including mineralization; and the Input-Output Balance (ECL-IOB), which evaluates total nutrient flows and internal SOM turnover based on specific site conditions.

The modeling results for BBF application are presented in Figure.

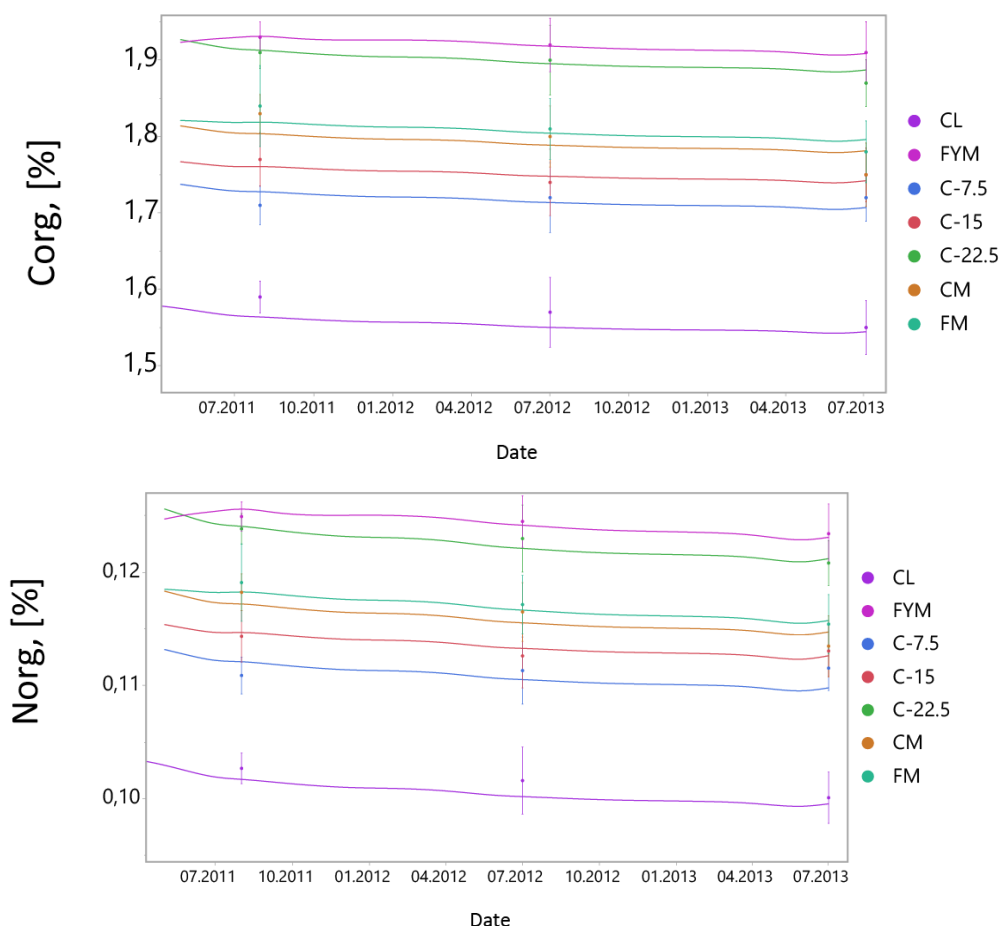


Figure. C and N dynamics for Ctot and Norg following the different fertilizer treatments, dots mean of Ctot and Norg measurements with standard deviation (N = 3), line modelled Ctot and Norg values. Treatments included: control (CL), FYM, three doses of compost application (C-7.5, C-15, C-22.5), compost with mineral fertilizers (CM), FYM with mineral fertilizers (CM)

Simulation results showed the highest agreement between observed and modelled organic C dynamics in the FYM treatment. Compost treatments, particularly at 15 and 22.5 t/ha, also exhibited good correspondence with observed values. Although a tendency was noted for the model to

overestimate soil C content in treatments receiving mineral fertilizers. As the N and C cycles are closely interconnected, the simulated patterns for nitrogen followed similar trends to those of C.

Analysis of N balance revealed notable differences between the approaches. The AGR indicated N deficits in most treatments, as it accounts primarily for mineral N in terms of inputs and outputs linked to yield. On the other hand, both ecological methods (ECL-DSB and ECL-IOB) showed more positive N balances as they consider organic N fractions stored in SOM, which gradually become plant-available through mineralisation processes. These results suggest that ecological modelling offers a more accurate representation of N availability and turnover, particularly with organic fertiliser application.

Consequently, it can be concluded that the AGR approach underestimates the contribution of BBFs to N inputs and fails to capture internal N cycling. This limitation may result in excessive fertilization rates, increasing the risk of nutrient losses and environmental contamination, particularly of soil and groundwater.

The C balance showed negative values in both approaches. Observed data under AGR suggests potential SOM decreasing in the absence of regular organic matter application. In contrast, ECL-IOB indicates that the C required for biomass developing is primarily sourced from the atmosphere. Thus, an assessment of SOM dynamics requires modelling results that show internal soil processes. It is important to note that long-term experimental data are important for calibrating models. However, this poses challenges for BBFs produced from new or variable raw materials, which often lack long-term application history.

This study shows the importance of integrating modelling tools to evaluate the long-term sustainability of organic fertilization strategies. The CNP model effectively simulated N availability from compost applications, supporting the development of more precise fertilization recommendations. Furthermore, the widespread use of the AGR approach for calculating nutrient balances in Ukraine should be reconsidered, as it may no longer accurately reflect current practices or soil conditions.

Література

1. Медведєв В. В., Мірошніченко М. М., Скрильник Є. В., Тимченко Д. О., Фатєєв А. І., ... & Цапко Ю. Л. Екологічний стан ґрунтів України. *Український географічний журнал*. 2012. Вип. 2. С. 38–42.
2. Fileccia T., Guadagni M., Hovhera V., & Bernoux M. Ukraine: Soil fertility to strengthen climate resilience. 2014.
3. Сплодитель А., Голубцов О., Чумаченко С., & Сорокіна Л. Вплив війни росії проти України на стан українських ґрунтів. Результати аналізу. 2023. URL: <https://dspace.organic-platform.org/xmlui/handle/data/618> (дата звернення: 25.03.2025).
4. Lehman R. M., Cambardella C. A., Stott D. E., Acosta-Martinez V., Manter D. K., Buyer J. S., Maul J. E., Smith J. L., Collins H. P., Halvorson J. J., et al. Understanding and enhancing soil biological health: the solution for reversing soil degradation. *Sustainability*. 2015. Vol. 7(1) P. 988–1027. URL: <https://doi.org/10.3390/su7010988> (дата звернення: 25.03.2025).
5. Kurniawati A., Toth G., Ylivainio K., & Toth Z. Opportunities and challenges of bio-based fertilizers utilization for improving soil health. *Organic Agriculture*. 2023. Vol. 13(3). P. 335–350.
6. Chen Y. S., Camps-Arbestain M., Shen Q. H., Singh B., & Cayuela M. L. The long-term role of organic amendments in building soil nutrient fertility: A meta-analysis and review. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. 2018. Vol. 111. P. 103–125.
7. Bünemann E. K., Schwenke G. D., & Van Zwieten L. Impact of agricultural inputs on soil organisms – a review. *Australian Journal of Soil Research*. 2006. Vol. 44. P. 379–406.
8. Steffens M., & Bünemann E. K. Quality of bio-based fertilizers is decisive for improving soil quality in Europe – A meta-analysis. *Soil Use and Management*. 2025. Vol. 41(1). P. e70012.
9. Gasser S. A. A., Nielsen K., Eichler-Löbermann B., Armbruster M., Merbach I., & Franko U. Simulating the soil phosphorus dynamics of four long-term field experiments with a novel phosphorus model. *Soil Use and Management*. 2023. Vol. 39(2). P. 867–880.
10. Franko U., Kolbe H., Thiel E., & Ließ E. Multi-site validation of a soil organic matter model for arable fields based on generally available input data. *Geoderma*. 2011. Vol. 166 (1). P. 119–134.

УДК 636.09+638

ВАРООЗ БДЖІЛ: АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ БОРОТЬБИ

VARROOSIS IN BEES: RELEVANCE OF THE PROBLEM AND MODERN CONTROL METHODS

Гапанович Софія, Атаманюк Ірина

*Млинівський технологічно-економічний фаховий коледж, Селище Млинів, Дубенський район,
Рівненська область, Україна*

*Varroosis is one of the most dangerous parasitic diseases affecting honey bees (*Apis mellifera*), caused by the mite *Varroa destructor*. This parasite feeds on the hemolymph and fat bodies of adult bees and brood, significantly weakening the immune system and leading to the death of colonies. Moreover, *Varroa* mites are vectors of multiple viral infections, including deformed wing virus and acute bee paralysis virus, which further exacerbate colony losses. The relevance of this problem is growing worldwide, with varroosis being one of the main factors contributing to colony collapse disorder (CCD). Effective diagnosis and integrated control methods are crucial for maintaining healthy bee populations.*

Варооз (вароатоз) – одне з найнебезпечніших паразитарних захворювань медоносної бджоли (*Apis mellifera*), викликане кліщем *Varroa destructor*, який паразитує на дорослих особинах та розпліді. Це захворювання вважається глобальною проблемою бджільництва, оскільки кліщ активно поширюється по всіх континентах, окрім Австралії, завдаючи величезних економічних збитків галузі.

Актуальність проблеми вароозу. Серед усіх факторів, що спричиняють загибель бджолиних сімей, варооз займає лідируюче місце. Втрати бджолосімей через вароа оцінюються в мільярди доларів щорічно. Особливо небезпечною є роль кліща як переносника вірусних інфекцій: вірус деформації крил, ізраїльський вірус гострого паралічу, вірус чорної матки.

Кліщ харчується гемолімфою та жировим тілом бджіл, що призводить до різкого зниження імунітету, передчасного старіння, втрати здатності до польоту та загибелі бджолосімей. Проблема ускладнюється тим, що *Varroa destructor* має здатність швидко виробляти резистентність до застосовуваних хімічних препаратів, тому боротьба з ним потребує системного та комплексного підходу.

Методи діагностики та визначення рівня ураження

1. Опарювання бджіл:

Один із класичних способів оцінки ступеня зараження – метод опарювання бджіл спеціальними акарицидами (щавлева чи мурашина кислота). В спеціальний контейнер відбирають близько 300 бджіл і піддають обробці парами препарату, в результаті чого кліщі відшаровуються й осипаються на дно. Даний метод дозволяє отримати максимально точні результати й обрати оптимальний час для лікувальних заходів.

2. Донна сітка та контроль природного осипу:

Використання вуликів із сітчастим дном і піддонами зі змащеним папером або олією дозволяє вести постійний моніторинг природного осипу кліща. Цей метод дає змогу оцінити динаміку зараження без зайвого втручання у гніздо.

Нормою природного осипу вважається до 5 кліщів на добу в літній період. Якщо кількість перевищує цей показник – необхідна термінова обробка.

3. Алкогольна або цукрова проба:

Цей метод базується на обробці зібраної проби бджіл спиртом або цукровим сиропом. Кліщі відділяються від бджіл та підраховуються. Метод високоточний, проте потребує

відбору частини бджіл.

Методи боротьби з вароозом:

1. Хімічна обробка (акарициди):

Основу боротьби з вароозом традиційно становлять хімічні препарати:

- Флувалінат (Апістан, Варостоп);
- Амїтраз (Байварол, Тактик);
- Кумафос;
- Препарати на основі органічних кислот (мурашина, щавлева, молочна) та тимолу.

Важливо дотримуватися інструкції, правильно розраховувати дозування та проводити обробку у визначені терміни. Найефективнішою вважається дво- та триразова обробка в осінній період, коли у вулику мінімум розплоду.

2. Біотехнічні та біологічні методи:

Сучасні напрями боротьби з вароозом спрямовані на зниження хімічного навантаження та розвиток альтернативних методів контролю:

- Теплові камери — термічна обробка розплоду при температурі 42–46° C, за якої кліщі гинуть, а бджоли виживають;
- Селекція стійких до вароозу ліній бджіл (VSH – Varroa Sensitive Hygiene), здатних виявляти та видаляти заражений розплід;
- Використання грибів-паразитів та біопрепаратів, які специфічно уражають кліща без шкоди для бджіл;
- Вилучення трутневого розплоду – оскільки кліщ активно розмножується саме в клітинках з трутневим розплодом.

3. Інтегрована система захисту:

Ефективна боротьба з вароозом передбачає поєднання хімічних, біотехнічних та механічних методів. Планування обробок повинно базуватися на моніторингу рівня зараження та біології розвитку кліща.

Інновації та перспективи розвитку методів контролю

У світі активно розробляються нові стратегії боротьби з вароозом:

- Вивчення ефективності нових молекул та препаратів з мінімальним накопиченням у продуктах бджільництва;
- Генетична модифікація бджіл для підвищення природної резистентності;
- Розробка систем штучного інтелекту та сенсорних технологій для моніторингу стану сімей у реальному часі;
- Впровадження екологічно чистих методів контролю, безпечних для навколишнього середовища та людей.

Висновки: Варооз залишається одним із головних викликів сучасного бджільництва. Паразит не лише знижує продуктивність пасік, а й створює загрозу для аграрного сектору через зниження рівня запилення сільськогосподарських культур. Своєчасна діагностика, правильне планування та комплексна система заходів – запорука ефективної боротьби з *Varroa destructor*. Лише інтеграція класичних і новітніх методів дозволить забезпечити здоров'я бджіл і стабільність пасічних господарств.

Література

1. Evans J. D., Cook S. C. Genetic resistance to Varroa mites and viruses in honey bees. *Journal of Apicultural Research*. 2020.
2. Гайдар В. І., Савчук Б. М. Хвороби бджіл та їх лікування. Київ : Урожай, 2018. 256 с.
3. Лісовець В. М., Шульга Г. І. Біологічні особливості кліща *Varroa destructor* і способи його контролю. *Науковий вісник ЛНУВМБТ ім. С.З. Гжицького*. 2021. № 3. Т. 23. С. 102–108.
4. Міністерство аграрної політики та продовольства України. Інструкція по діагностиці та лікуванню варроатозу бджіл. Київ, 2021. 35 с.
5. Палащенко М. А. Сучасні методи боротьби з вароатозом бджіл. *Вісник аграрної науки*. 2022. № 5. С. 47–53.
6. Rosenkranz F., Aumeier P., Ziegelmann B. Biology and control of Varroa destructor. *Journal of Invertebrate Pathology*. 2010. Vol. 103, Issue 1. Pp. 96–119.

УДК 631.372:621.879

АНАЛІЗ ПІДВІСНИХ СИСТЕМ ГУСЕНИЧНИХ РУШІЇВ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ

ANALYSIS OF SUSPENSION SYSTEMS OF CRAWLER MOTORS IN ORDER TO REDUCE VIBRATIONS

Голотюк Микола, Шуманський Андрій, Троцюк Андрій

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

У сучасному сільському господарстві, будівельній та комунальній техніці гусеничні машини займають провідне місце завдяки своїй прохідності та здатності працювати в умовах важкодоступних або складних поверхонь. Одним із ключових факторів, що впливає на ефективність роботи такої техніки, є рівень вібрацій, які виникають під час руху. Високі амплітуди коливань негативно впливають не тільки на комфорт оператора, а й на ресурс ходової частини, надійність елементів конструкції, а також точність виконання технологічних операцій. Одним із ефективних способів зниження вібрацій є вдосконалення конструкції підвісної системи гусеничного рушія. Метою даної роботи є аналіз існуючих типів підвісок та їх вплив на рівень вібрацій з урахуванням особливостей експлуатації техніки.

Гусеничні рушії, порівняно з колісними, забезпечують більшу площу контакту з ґрунтом, що зменшує питомий тиск на поверхню і сприяє кращій прохідності. Проте велика площа контакту супроводжується значними вібраційними навантаженнями, які передаються від нерівностей дорожнього покриття через катки та напрямні колеса до рами машини. Стандартні жорсткі підвіски, що були поширені у старих моделях тракторів, мали просту конструкцію, але не забезпечували належного гасіння вібрацій. З розвитком технологій стали широко впроваджуватися торсіонні, ресорні, гідропневматичні та комбіновані системи підвісок, які дозволяють ефективніше адаптувати гусеничну платформу до особливостей рельєфу [1; 2].

Торсіонна підвіска є однією з найпоширеніших у сучасних гусеничних машинах. Її принцип дії базується на використанні торсіонного валу, що виконує функцію пружного елемента. Основною перевагою є компактність, достатня жорсткість і надійність. Проте такий тип підвіски ефективний здебільшого в обмеженому діапазоні частот вібрацій. У разі значних коливань або високої швидкості руху виникає потреба у додаткових демпферах.

Іншим варіантом є використання ресорних або гідропружинних підвісок, які мають кращі демпфуючі властивості. Ресори дозволяють забезпечити більший хід підвіски та кращу адаптацію до різких перепадів рельєфу. Гідропружинні системи об'єднують у собі функції гасіння та пружного елемента, часто з можливістю регулювання жорсткості в залежності від навантаження або типу ґрунту. Такі системи успішно застосовуються на гусеничних комбайнах, бойових машинах піхоти та сільськогосподарських тракторах з підвищеними вимогами до комфорту і довговічності.

Низка дослідників, зокрема Козлов В.О. [3; 4], підкреслює важливість комп'ютерного моделювання при проєктуванні підвісок для аналізу частотних характеристик і амплітудно-частотного спектра коливань. За допомогою методів кінематичного моделювання та аналізу в середовищах, таких як SolidWorks Motion або ANSYS, можна відтворити поведінку машини в реальних умовах і виявити критичні точки надмірного навантаження. Наприклад, при моделюванні роботи гусеничного рушія з гідропружинною підвіскою на рельєфі із

перепадом висоти 100 мм було виявлено зменшення пікової амплітуди вертикальних коливань на 48% у порівнянні з жорсткою підвіскою.

Особливої уваги заслуговують активні системи підвісок (рисунок), в яких використовуються датчики прискорення та положення, електронні блоки управління та актуатори, що змінюють жорсткість або демпфування в режимі реального часу. Це дозволяє підтримувати оптимальний контакт гусениці з поверхнею, мінімізуючи передавання вібрацій на корпус машини. Такі системи активно досліджуються та впроваджуються компаніями CLAAS, John Deere, Caterpillar.



Рисунок. Активні системи підвісок гусеничних рушіїв

Експериментальні дослідження, зокрема проведені у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. Петра Василенка (2019), показали, що використання комбінованих систем (торсіон + гідравлічний амортизатор) дозволяє знизити вібраційні навантаження на оператора на 35–40%, що суттєво підвищує продуктивність праці й знижує втому під час тривалих робочих змін.

Також варто зазначити, що вдосконалення підвісних систем сприяє не лише комфорту, а й зменшенню зносу гусеничної стрічки, опорних котків, ведучих зірочок та напрямних коліс. Це знижує експлуатаційні витрати, подовжує ресурс техніки та зменшує потребу у дорогому технічному обслуговуванні. Зниження вібрацій також позитивно впливає на точність виконання технологічних операцій – зокрема, під час точного посіву або внесення добрив на гусеничних тракторах.

Отже, аналіз підвісних систем гусеничних рушіїв свідчить про необхідність комплексного підходу до проектування, вибору типу підвіски та її налаштування з урахуванням умов експлуатації. Впровадження сучасних адаптивних підвісок із регульованими характеристиками дозволяє значно підвищити ефективність та надійність машин у різноманітних галузях. Подальші дослідження повинні бути спрямовані на оптимізацію маси, спрощення конструкцій і впровадження інтелектуальних алгоритмів управління вібраціями для досягнення максимального комфорту й продуктивності.

Література

1. Дмитренко О. М. Математичне моделювання гусеничних рушіїв з активною підвіскою. *Наукові праці ТДАТУ*. 2021. Вип. 6(38). С. 77–83.
2. Бойко О. С. Динаміка сільськогосподарських машин. *Вібрації та коливання*. К. : Вища школа, 2018. Ч. 2. 216 с.
3. Теоретичні передумови систематизації типорозмірів міні-тракторів / О. О. Налобіна, М. В. Голотюк, В. С. Пуць. Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті. *Науковий журнал*. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. № 1(16). С. 18–22.
4. Козлов В. О. Системи підвіски гусеничних рушіїв: динамічні характеристики і шляхи вдосконалення. *Вісник ХНТУСГ*. 2020. № 205. С. 42–48.

УДК 621.331

ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ГІДРООБ'ЄМНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ

JUSTIFICATION OF THE MECHATRONIC SYSTEM OF HYDRAULIC VOLUME STEERING CONTROL OF WHEEL TRACTORS

Журавель Дмитро

*Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного,
вул. Жуковського, 66, м. Запоріжжя, 69600*

The use of a mechatronic system of hydraulic volumetric steering of wheeled tractors has a significant advantage over standard steering, especially at high speeds, it has a margin of stability of the controlled movement and provides ease of maneuvering, which significantly increases the productivity of the tractor.

Розглянувши конструкції існуючих рульових керувань [1] можна зробити висновок, що жодне з них не може повністю розв'язати технічне протиріччя між маневреністю колісної машини та її керованістю. На підвищених швидкостях необхідна понижена чутливість рульового керування, а при маневруванні навпаки підвищена [2]. Маневреність трактора є важливою експлуатаційною властивістю колісної машини, яка визначає ефективність їх використання та безпеку руху.

Дослідженню маневреності колісних машин та машинотракторних агрегатів (на базі колісних тракторів) присвячена велика кількість робіт. Можна стверджувати, що маневреність машинно-тракторного агрегату є важливим експлуатаційним фактором, який впливає на агротехнічні, експлуатаційні та техніко-економічні показники його роботи. Але в той же час це дуже широке поняття, тому що включає в себе такі питання як власне керованість, поворотність, вписуємість машини [3].

Поняття керованості колісної машини є неоднозначне, та трактується різними авторами по-різному. Таким чином дослідники, які займаються розробкою різноманітних засобів автоматичного водіння [4] вважають, що керованість – це здатність агрегату, який працює під навантаженням, точно відслідковувати задану траєкторію.

Інші розглядають керованість як здатність машини витримувати задану водієм через рульовий механізм траєкторію, включаючи прямолінійний рух та режим повороту із заданим радіусом, у тому числі, під впливом зовнішніх сил [5]. Деякі під керованістю розуміють здатність агрегату відслідковувати положення керованих коліс, тобто властивість, яка не залежить від водія, а належить агрегату як динамічній системі, яка взаємодіє із зовнішнім середовищем.

Не дивлячись на те, що поняття керованості дещо різняться між дослідниками, всі вони розглядають її як властивість системи «людина-агрегат-грунт». Тому і розглядати це поняття необхідно в комплексі, беручи до уваги всі складові цієї системи.

З огляду на те, що у ній нестабільним є такий елемент як «людина», то і сам процес керування є поняттям досить суб'єктивним.

Таким чином, якщо водій має високу кваліфікацію, то він може краще забезпечити рух МТА з незначним відхиленням від заданої траєкторії руху. Але, якщо умови роботи досить складні (погана видимість, багато бур'янів, складний рельєф поля, втомленість та ін.), то водій може припускатись різноманітних помилок, і якщо потік інформації стає надвеликим та продовжується тривалий час, то може статися зрив у роботі людини, з'явитися брак у вигляді скривлення базових ліній, підрізання культурних рослин тощо.

Рульове керування призначене для підтримання та змінення напрямку руху колісного МТА у відповідності до дій оператора. Воно являє собою частину комплексу механізмів і агрегатів системи керування МТА [6].

Відомо, що колісне шасі із традиційним рульовим керуванням як об'єкт керування являє собою інтегратор зі змінними параметрами. Поворот транспортного засобу на місцевості є результат нагромадження в міру поздовжнього переміщення. Це породжує суперечливість процесу керування на різних швидкостях руху. При маневруванні на малих швидкостях (до 10–20 км/год), чутливість рульового керування недостатня, а на великих швидкостях надлишкова.

Відзначимо, що під чутливістю розуміється інтенсивність відгуку об'єкта керування на одиничний керуючий вплив. Для керування напрямком руху транспортного засобу чутливість рульового керування ω є відношенням зміни кутової швидкості машини до кута повороту керма, що його викликало.

У рамках існуючих механічних схем кермових приводів чутливість задається передатним співвідношенням рульового керування W як правило незмінним ($W = \text{const}$) (Передатне співвідношення це відношення кута повороту керма до кута повороту керованих коліс шасі).

Для зручності при маневруванні передатне співвідношення бажано знизити, а в транспортному (швидкісному) – підвищити.

Відомо, що тихохідні машини мають передатне співвідношення рульового керування - 4...6, а у швидкісних автомобілів до 30. При проектуванні рульового керування передатне співвідношення вибирається досить великим, щоб забезпечити стійкість руху на підвищених швидкостях, а це приводить до незручностей при маневруванні.

Широко відомі спроби непрямого подолання цього технічного протиріччя в рамках механічних схем. Наприклад, технічні рішення, в основі яких лежить введення нелінійності в кінематику кермового привода.

В межах малих відхилень керованих коліс від нейтрального положення призначається велике передатне співвідношення, тому що це характерно для швидкісних режимів. Більші відхилення керованих коліс характерні для маневрування, тому з ростом цієї величини передатне співвідношення знижується. Однак не можна не відзначити, що такий підхід не знімає повністю суті технічного протиріччя, в основі якого лежить лінійна залежність чутливості від швидкості руху.

Кардинальне поліпшення керованості машин можливо на основі використання сучасних досягнень мехатроніки. Таким чином, пропонується варіант кермового привода який забезпечує високу керованість транспортних засобів на всіх швидкісних режимах. Структурна схема мехатронної системи гідрооб'ємного рульового керування колісних тракторів наведена на рисунку.

Варіанти виконання підсумовуючого механізму відомі [7]: для важких машин можна використовувати двоконтурне гідрооб'ємне рульове керування з вільним золотником. Для цього, насос дозатор сервопривода, підключається паралельно основному насосу дозатору.

Для легких колісних машин краще кермова колонка з диференціалом.

Функціональне призначення суматора складати керуючий вплив (поворот керма) і коригування (від сервопривода) з метою забезпечення необхідного передатного співвідношення кермового привода.

Сервопривод здійснює коригувальний вплив, величина якого регламентується його мікропроцесором.

Мікропроцесор використовує інформацію про інтенсивність керуючого впливу (ВП1) і швидкості транспортного засобу (ВП2) яка надходить із відповідних вимірювальних перетворювачів, що дозволяє гнучко й ефективно управляти транспортним засобом з використанням різних алгоритмів керування.

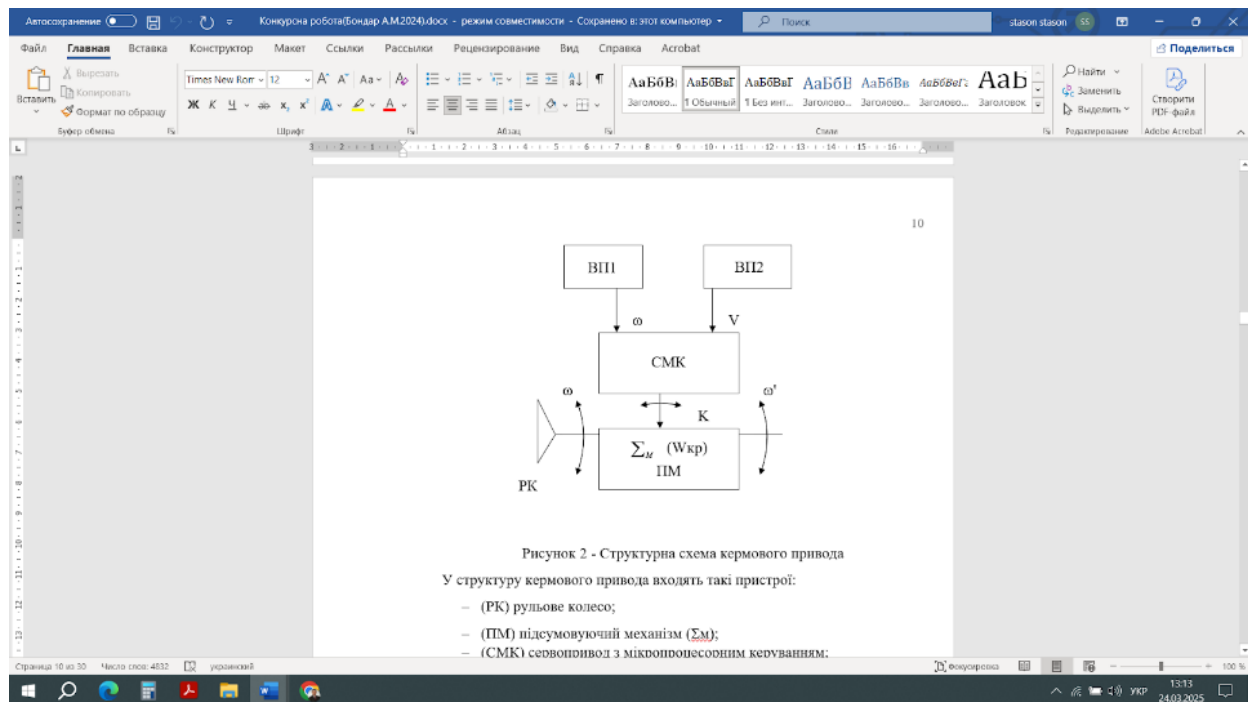


Рисунок. Структурна схема мехатронної системи гідрооб'ємного рульового керування колісних тракторів

У структуру кермового привода входять такі пристрої: (РК) рульове колесо; (ПМ) підсумовуючий механізм (Σ_m); (СМК) сервопривод з мікропроцесорним керуванням; вимірювальні перетворювачі повороту керма (ВП1) і швидкості транспортного засобу (ВП2).

Література

1. Журавель Д. П., Бондар А. М. Підвищення керованості колісних тракторів шляхом використання адаптивного рульового керування : монографія. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. 154 с.
2. Журавель Д. П., Бондар А. М. Техніко-економічне обґрунтування доцільності використання адаптивного рульового керування колісного трактора. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* : наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 2. С. 7–17. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-1.
3. Журавель Д. П., Бондар А. М. Моделювання керованості колісних тракторів шляхом використання адаптивного рульового керування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* : наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Запоріжжя : ТДАТУ, 2024. Вип. 24, т. 3. С. 18–38. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-2.
4. Журавель Д. П., Бондар А. М. Діагностування елементів системи рульового керування. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 2022. С. 138–140.
5. Журавель Д. П., Бондар А. М. Методи та засоби діагностування рульового керування. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції. Запоріжжя, 2022. С. 149–150.
6. Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивець Г.І. Обґрунтування діагностичних параметрів рульового керування транспортного засобу під час технічного обслуговування. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* : електронне наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь : ТДАТУ, 2023. Вип. 13, том 2. 10 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2 -1.
7. Журавель Д. П., Бондар А. М., Дашивець Г. І. Методика обробки емпіричних даних якісних показників роботи колісної машини. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету* : електронне наукове фахове видання / ТДАТУ ; гол. ред. д.т.н., проф. В. М. Кюрчев. Мелітополь : ТДАТУ, 2022. Вип. 12, том 2. 13 с. DOI: 10.31388/2220-8674-2022-2-2.

УДК 631.3

ТЯГОВИЙ ОПІР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН: ФАКТОРИ ВПЛИВУ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ

TRACTION RESISTANCE OF AGRICULTURAL MACHINERY: FACTORS OF INFLUENCE AND WAYS TO REDUCE IT

Ісічук Олег, Андрієвич Юрій, Шимко Андрій

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

The article considers the value of traction resistance of agricultural machines as a key parameter that determines the energy intensity of machine-tractor units. The main factors that influence traction resistance, including natural and climatic, structural and operational ones, are analysed.

Ефективність роботи машинно-тракторних агрегатів (МТА) значною мірою визначається їхньою продуктивністю та паливною економічністю, які залежать від численних факторів і виробничих умов. Одним із ключових показників, що впливає на ці характеристики, є енергоємність технологічного процесу. Важливим параметром, який визначає рівень енерговитрат, виступає тяговий опір сільськогосподарських машин [1; 2; 3; 4; 5].

Тяговий опір є основним критерієм оцінки енергетичних витрат МТА. Його визначення в реальних умовах експлуатації необхідне для вибору оптимального складу агрегатів і режимів їхньої роботи, встановлення обґрунтованих норм виробітку та витрат паливно-мастильних матеріалів. Крім того, контроль цього показника дозволяє оцінити технічний стан машин, правильність їх регулювань, а також сприяє розробці нових, більш енергоефективних конструкцій робочих органів і сільськогосподарських агрегатів.

Тяговий опір сільськогосподарської машини – це сила, необхідна для її переміщення з технологічно допустимою швидкістю під час виконання робочої операції. Його можна використати як вихідний параметр для:

- оцінки енергетичних витрат МТА, що дає змогу визначити оптимальний склад агрегату та режими його роботи;
- встановлення технічно обґрунтованих норм виробітку та витрат паливно-мастильних матеріалів;
- контролю технічного стану машин і правильності їх регулювань;
- розрахунку та конструювання нових, більш енергоефективних робочих органів і машин.

Основні фактори, що впливають на тяговий опір сільськогосподарських машин, поділяються на [1]:

- природно-кліматичні;
- конструктивні;
- експлуатаційні.

До природно-кліматичних факторів належать:

- тип і стан ґрунтів;
- рельєф оброблюваних полів;
- метеорологічні умови регіону.

Поліпшення природно-кліматичних умов може включати:

- вирівнювання полів;
- усунення чагарників, каміння та засміченості;

- покращення структури ґрунту.

З конструктивних факторів найбільший вплив мають:

- тип машини;
- форма, кількість і якість робочих органів;
- матеріал робочих поверхонь;
- маса машини;
- тип і конструкція ходової системи.

Зниження тягового опору сільськогосподарських машин можливе завдяки:

- застосуванню навісних машин, що мають меншу масу та не потребують опорних коліс;

- використанню пневматичних коліс замість металевих;
- поліпшенню якості поверхонь робочих органів, зокрема завдяки спеціальним покриттям;

- заміні тертя ковзання на тертя кочення в опорних колесах та інших механізмах.

Серед експлуатаційних факторів найбільший вплив мають:

- технічний стан робочих органів і самої машини;
- правильність агрегування;
- вибір режиму роботи;
- спосіб руху.

Зменшення тягового опору можна досягти за рахунок:

- якісного та своєчасного технічного обслуговування;
- правильного складання та регулювання машин;
- виконання технологічних операцій у сприятливих умовах для обробки.

Технічний стан сільськогосподарської машини залежить від її віку, своєчасності та якості обслуговування. Хоча зазвичай у розрахунках враховується лише термін служби, недотримання регламенту обслуговування може призвести до збільшення тягового опору на 20-30% і більше, що значно погіршує якість роботи.

Таким чином, тяговий опір сільськогосподарських машин є важливим діагностичним параметром, а його періодичний контроль сприятиме підвищенню надійності роботи техніки та забезпеченню її справності.

Література

1. Експлуатаційні властивості сільськогосподарських машин. URL: https://evgivanov.github.io/expl_html_book/book/part1/tema1-5.html (дата звернення: 31.03.2025).
2. Li F., Wang Zh., Si L., Wei D., Tan Ch., An X. Traction resistance analysis and cutting state recognition of shearer based on numerical simulation. *Measurement*. 2024. Vol. 237. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2024.115261>
3. Liu K., Benetti M., Sozzi M., Gasparini F., Sartori L. Soil Compaction under Different Traction Resistance Conditions. A Case Study in North Italy. *Agriculture*. 2022. Vol. 12. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12111954>
4. Sun C., Zhou J., Zhao J. Traction Resistance Estimation Based on Multi-Method Fusion for Distributed Drive Agricultural Vehicles. *IEEE Sensors Journal*. 15 May 2022. Vol. 22(10). Pp. 9580–9588. DOI: 10.1109/JSEN.2022.3162652.
5. Lee N. G., Kim Y. J., Baek S. M., Moon S. P., Park S. U., Choi Y. S., Choi C. H. Analysis of Traction Performance for Agricultural Tractor According to Soil Condition. *J. Drive Control*. 2020. Vol. 17. Pp. 133–140. DOI: <https://doi.org/10.7839/ksfc.2020.17.4.133>

УДК 633.522

ОГЛЯД ГАЛУЗЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ

OVERVIEW OF THE APPLICATION AREAS OF TECHNICAL HEMP

Коваль Ілона, Налобіна Олена

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне,

Hemp products have competitive advantages in the industry where they are used. Materials derived from hemp are distinguished by the quality that is appreciated by consumers. The author makes an attempt to analyze the peculiarities of the use of technical hemp in the production of products of various industries.

Вироби з конопель володіють конкурентними перевагами у галузі, де вони використовуються. Матеріали, що отримуються з конопель, відрізняє якість, яка цінується споживачами. Автором зроблено спробу аналізу особливостей застосування технічної коноплі у виробництві продукції різних галузей промисловості

Технічні коноплі – важлива технічна культура, розвиток якої суттєво гальмує законодавство, пов'язане з обігом наркотиків, хоча вмісту каннабінолу в ній недостатньо для отримання відповідного ефекту. Причому до сьогодні такий тренд зберігається у більшості країн світу. Так, у США промислові коноплі легальні ще не в усіх штатах, а лобісти компаній, які вирощують інші технічні культури в Німеччині, користуються хитрощами для просування своїх інтересів. Однак ширина застосування технічних конопель – а з неї можна виготовити до 25 тисяч продуктів – дає позитивні тенденції для зростання галузі.

В Україні питання вирощування та використання конопель регулюється на законодавчому рівні. Вирощування технічних конопель (*Cannabis sativa*) дозволене за умови, що вміст ТГК у рослинах не перевищує 0,3%. Для вирощування необхідно отримати ліцензію від Державної служби України з контролю за наркотиками та сертифікат на посівний матеріал.

У квітні 2024 року Верховна Рада України ухвалила закон про легалізацію медичних конопель. Закон передбачає:

- ліцензійне вирощування конопель для медичних і наукових цілей;
- виробництво препаратів на основі канабіноїдів для лікування онкологічних захворювань, посттравматичного синдрому, хронічного болю та неврологічних розладів;
- медичний канабіс буде доступний за рецептом у спеціалізованих аптеках.

Вирощування конопель з високим рівнем ТГК (*Cannabis indica*) заборонено та карається за статтею 310 Кримінального кодексу України (незаконний посів або вирощування конопель).

Технічні коноплі мають широкий спектр використання. Проаналізуємо сфери застосування цієї культури.

Фіторемедійні властивості конопель загальновідомі, тому фінансування однієї з державних структур США багаторічних досліджень спрямованих на покращення показників ґрунту з використанням технічних сортів рослини є прикладом комерціалізації даної особливості даної сільськогосподарської культури. Міністерство енергетики США фінансує дослідження вартістю \$5 млн, в рамках якого вивчатимуться переваги вирощування технічних конопель та біовугілля (древовугільної суміші, схожої на ґрунт для посадки).

Шестирічне дослідження буде зосереджено на покращенні показників ґрунту під впливом біовугілля та чергуванням у посіві технічних конопель, пшениці, нуту, кукурудзи, а також інших сільськогосподарських культур.

Девід Ганг, керівник проекту та директор Центру політики, досліджень та пропаганди коноплярства при Університеті штату Вашингтон (Washington State University), зауважує: «Конопля та біовугілля – потенційно потужні інструменти для відновлення

сільськогосподарських ґрунтів. Разом вони посилюють ефекти один одного. Ми хочемо побачити, як різні комбінації біовугілля та технічної коноплі впливають на всю систему землеробства з часом та наскільки корисні ці практики для здоров'я ґрунту» [1; 2].

Коноплі також знаходять своє застосування у виробництві промислової продукції. До них відносяться, зокрема, вироби для будівництва. Це: ДВП, де додавання конопель підвищує міцність або знижує вагу, композитні блоки з використанням бетону, тощо.

На будівельному ринку з'явився цікавий продукт – Голландські шумоподавлюючі конопляні панелі. Пориста структура забезпечує ефективне поглинання звуку, особливо в діапазоні високих частот, що ідеально підходить для офісів, конференц-залів та інших приміщень, чутливих до шуму.

Цим продуктом голландська компанія «Vera» демонструє, як можна поєднати інноваційні натуральні матеріали, досконалість дизайну та турботу про довкілля для створення вишуканих рішень для робочих просторів.

З 2018 року в Україні (ТОВ «Лабораторія конопель», «Натуральна косметика»), Італії (Hemp Embassy) в рамках проведених досліджень створили рецептури косметичних препаратів із насіння коноплі, молодих пагонів, кореня, зеленої маси конопляної рослини. Косметика має потужні регенераційні, зволожуючі, антибактеріальні, протимікробні, антигрибкові властивості, дія яких посилюється спеціально підібраними для цього природними каталізаторами.

В останні роки з'явилися цікаві для вивчення технології, спрямовані на використання конопляної сировини з метою виробництва біопластиків та палива. Надзвичайно перспективним відкриттям є графен, отриманий із рослини [3]. На початку 2000-х років графен рекламувався як диво-матеріал, покликаний зробити революцію в багатьох галузях промисловості завдяки своїй надзвичайній міцності, гнучкості та надлегкій вазі. Він у мільйон разів тонший за аркуш паперу, у 20 разів міцніший за сталь і є провідником електричного струму. Традиційний графен часто виготовляється або розшаруванням видобутого графіту або шляхом осадження атомів вуглецю за допомогою високотехнологічних процесів, таких як хімічне осадження з парової фази. Незважаючи на те, що ці методи дозволяють отримати дуже чистий, тонкий графен, вони складні та надзвичайно дорогі.

Ще одним перспективним ринком є фільтрація. Папір виготовляють із волокон коноплі, він має малу товщину, вагу, середній діаметр пор. Фільтр з конопляного паперу гарно відфільтровує мастила. З урахуванням цієї виготовлені експериментальні фільтри для авто, які проходять випробування.

В останні роки розширено сферу застосування насіння коноплі, яке донедавна, в основному, було побічним продуктом. Зростає використання насіння конопель та їх похідних (зокрема конопляної олії) у раціоні здорового харчування людей.

В останнє десятиліття спостерігається поступове зростання споживання конопляного насіння саме у продовольчому сегменті, відповідно в цьому напрямі активно розвиваються технології переробки зерна у різні товари, прийнятні для продуктового ринку.

Птах і корм для риб є основним ринком збуту конопляного насіння в зообізнесі.

Ми навели лише деякі, найбільш нові напрямки застосування технічних конопель. Відомими є понад 500 виробів із даної культури. Все це доводить унікальність даної сільськогосподарської культури та необхідність збільшувати площі під неї в Україні.

Література

1. Seth Truscott. New study takes long-term look at how biochar and hemp improve yields, crops. URL: <https://news.wsu.edu/press-release/2025/03/13/new-study-takes-long-term-look-at-how-biochar-and-hemp-improve-yields-crops/> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Університет штату Вашингтон. Center for Cannabis Policy, Research, and. Outreach. URL: <https://ccpro.wsu.edu/> (дата звернення: 01.04.2025).
3. Hempo Inf. URL: <https://www.hempopro.com/presseinformationen/> (дата звернення: 01.04.2025).

УДК 631.3.02

**ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ В СУЧАСНИХ ПРИВОДАХ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ**

**USE OF CHAIN TRANSMISSIONS IN MODERN DRIVES OF AGRICULTURAL
MACHINERY**

Куликівський Володимир, Боровський Віктор

Поліський національний університет, м. Житомир, Україна

The ability of chains to withstand heavy loads, adapt to different operating conditions of equipment and contribute to overall efficiency makes them indispensable in modern agricultural practice. An effective way to improve the operational reliability of chain transmissions of agricultural machinery is to protect the hinges of roller and bush chains from contamination and abrasives.

В умовах ринкової економіки перед виробниками техніки стоїть завдання щодо нарощування випуску високопродуктивних, надійних, конкурентоспроможних машин та обладнання. Науково-технічний прогрес у машинобудуванні тісно пов'язаний зі створенням нових типів передач та удосконаленням існуючих приводів. Серед різноманіття механічних приводів важливе місце займають ланцюгові передачі, які знаходять широке застосування у сільськогосподарській техніці, підйомно-транспортних машинах, автомобілях тощо. Простота конструкції та монтажу, високий коефіцієнт корисної дії, невеликі габаритні розміри, постійне значення середнього передатного (передавального) числа, можливість одночасної передачі енергії одним ланцюговим контуром (від ведучого валу) кільком веденим валам, компенсація похибок виготовлення і встановлення елементів механізму, експлуатація на нежорсткій рамі – основний перелік переваг ланцюгових передач, який забезпечує їх широке використання.

Ланцюгова передача складається із ведучої та веденої зірочки і ланцюга [1, 2]. Найбільш поширеними є роликові та втулкові приводні ланцюги, які поділяються на декілька типів. Роликові ланцюги налічують ряди зовнішніх та внутрішніх ланок, які чергуються і шарнірно з'єднуються між собою. Дані ланцюги широко використовують у конструкціях машин, обладнання і функціонують на високих швидкостях (більше 15 м/с). Довголанкові роликові ланцюги виготовляють зі зниженим руйнівним навантаженням та мають меншу швидкість рух (до 3 м/с). Приводні втулкові ланцюги відрізняються від попередніх відсутністю роликів, що знижує вартість конструкції, але збільшує знос втулок і зубів зірочок. Відсутність рухомого ролика дозволяє збільшити діаметр валика. Дані ланцюги прості за конструкцією, мають меншу масу (в порівнянні з роликовими), але характеризуються низькою зносостійкістю, що дозволяє використовувати їх у невідповідальних передачах, при мінімальних швидкостях (1–2 м/с). Також роликові та втулкові ланцюги виготовляють багаторядними, їх використовують у вузлах для передачі значних потужностей, високих швидкостей тощо. За таких умов навантажувальна спроможність багаторядних ланцюгів практично прямо пропорційна кількості рядів. Багаторядний ланцюг з меншим кроком дозволяє знизити рівень шуму приводу та зменшити габаритні розміри механічної передачі. На відміну від роликових та втулкових конструкцій, ланцюги із пластинами вигнутої форми складаються з однакових (однотипних) ланок, що дозволяють застосовувати їх у надто навантажених механічних приводах та важких умовах функціонування. Даний різновид роликових ланцюгів створений для застосування у машинах, які працюють в умовах ударних навантажень. У разі перевантажень, пластини схильні до формозміни, що запобігає руйнуванню ланцюга.

Для зменшення шумності роботи передачі та збільшення плавності ходу використовуються приводні зубчасті ланцюги. До того ж застосування зубчастих ланцюгів, у машинах та механізмах, забезпечує кінематичну точність приводів за рахунок рівномірного збільшення кроку, внаслідок зносу елементів. У зв'язку з відсутністю втулок та роликів, а також неможливістю одночасного розриву всіх пластин однієї ланки, зубчастий ланцюг має високу надійність. Здебільшого ланцюг виготовляється із шарнірами кочення, а в отворах пластин кожного з'єднання встановлені дві призми, робочі поверхні яких криволінійні. Також випускаються приводні зубчасті ланцюги із шарнірами тертя ковзання. Проте довговічність таких конструкцій вдвічі менша, ніж у ланцюгів із шарнірами кочення. Приводні зубчасті ланцюги значно важчі та складніші у виготовленні, ніж роликові та втулкові конструкції.

Внаслідок значного (домінуючого) забруднення елементів ланцюгових передач абразивними частинками, останнім часом розроблені конструкції ланцюгів, які забезпечують зниження зносу в шарнірах. До таких конструкцій можна віднести роликові та втулкові ланцюги, в яких встановлені пластмасові втулки (рис. 1). У цих ланцюгах, під час повороту ланок, процес механічної взаємодії відбувається між полімером і сталлю, що суттєво знижує тертя ковзання у шарнірі. Насамперед перевага ланцюгів з полімерними втулками стає помітною під час роботи приводів машин та обладнання в умовах високої вологості, коли корозія металу знижує зносостійкість та збільшує швидкість зношування. Проте робота ланцюгів із пластмасовими втулками в умовах недостатньої вологості та високого рівня абразивного забруднення призводить до зростання інтенсивності зношування у шарнірах, через насичення втулок твердими частинками. Якісне функціонування ланцюгів з полімерними втулками ускладнюється і під час зниження температури.



Рис. 1. Приводний ланцюг з полімерними втулками

Ефективним напрямом підвищення експлуатаційної надійності ланцюгових передач сільськогосподарської техніки є захист шарнірів роликових та втулкових ланцюгів від потрапляння в них абразиву. Здебільшого для цього використовують ущільнювальні елементи, які виконують гумовими і встановлюють між втулкою, валиком та роликом. Доведено, що застосування гумових ущільнень для захисту шарнірів ланцюга від абразивних забруднень знижує знос поверхонь деталей з'єднань у 2–3 рази. Ефективність застосування ущільнень підтверджується також використанням їх у гусеничних полотнах, які працюють в умовах повної відсутності мащення та наявності абразивних забруднень. Основними недоліками застосування ущільнень є висока вартість виготовлення ланцюгів та швидке старіння виробів, елементів, зроблених із гуми. Досить цікавими є конструкції роликових ланцюгів, які випускаються компанією Regina (рис. 2) та призначені для експлуатації в умовах сильного абразивного забруднення. У цих ланцюгах встановлені гумові ущільнення, виконані у вигляді кілець. Завдання ущільнень зводиться до утримування мастильного матеріалу в деталях шарнірів. Форми поперечних перерізів кілець ущільнювачів мають різну

конфігурацію, що визначає тип ланцюга. Недоліками конструкцій таких ланцюгів є низький коефіцієнт корисної дії з одночасними, високими втратами на тертя, через подолання опору кілець ущільнювачів. За такої умови при підвищенні ступеня захисту шарнірів від потрапляння абразивних частинок знижуються і функціональні показники з'єднань. До того ж ущільнювальні елементи, виконані з гуми, схильні до швидкого старіння і за відсутності своєчасного технічного обслуговування втрачають еластичність, руйнуються та вимагають заміни вже через 110–130 год.

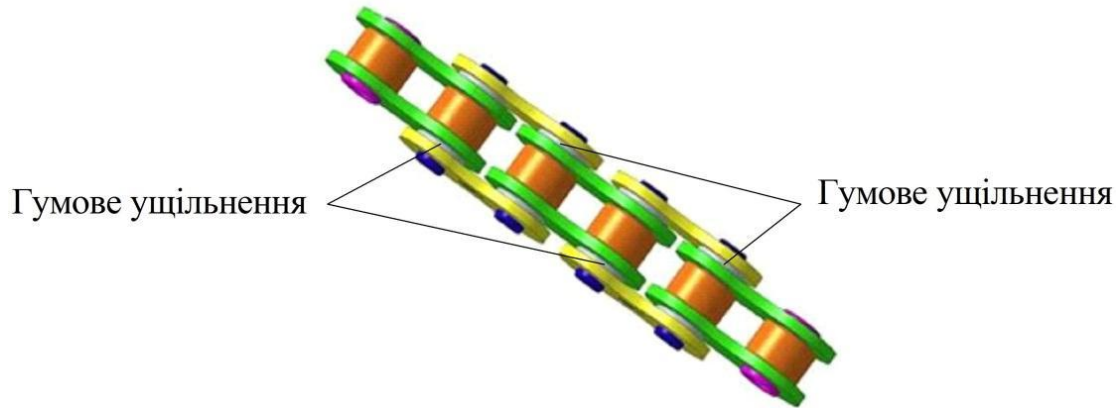


Рис. 2. Приводний ланцюг з гумовими ущільненнями

Для експлуатації в умовах значних абразивних забруднень використовують приводні ланцюги із внутрішнім тертям ковзання між елементами шарнірів. Основною особливістю даних ланцюгів є використання в конструкціях гумометалевих з'єднань. У гумометалевих шарнірах механічна взаємодія, що виникає на поверхнях контактуючих валиків і втулок, замінюється на тертя ковзання всередині гумових елементів. До того ж ланцюг з шарнірами внутрішнього тертя, у порівнянні з роликівим і втулковими конструкціями, має підвищену зносостійкість та не потребує постійного забезпечення мастильним матеріалом. Недоліками даних ланцюгів є висока вартість та складність виготовлення шарнірів, швидке старіння гумових елементів під час експлуатації та зберігання, неможливість передавати значні навантаження приводом, підвищена точності монтажу механічної передачі.

В умовах запиленості та хімічно активних середовищ зазвичай використовують відкритий шарнірний ланцюг. Під час експлуатації відкритий шарнір самоочищається від абразивних частинок, які потрапляють на робочі поверхні з'єднання. Відсутність втулок та роликів суттєво знижує вартість виготовлення ланцюга, значно збільшує його вантажопідйомність і міцність елементів. Дані пластинчасті ланцюги довговічніші за роликіві приводні конструкції, особливо при високих навантаженнях та важких умовах експлуатації. Істотним недоліком відкритих шарнірних ланцюгів є неможливість змащування з'єднань, оскільки мастильний матеріал швидко втрачається у процесі роботи механічного приводу.

Отже, аналіз конструктивних особливостей та умов роботи ланцюгів сучасних механізмів показує, що нині не існує ланцюгових передач, які повною мірою можуть задовольняти вимогам, котрі висуваються до відкритих приводів сільськогосподарського призначення. Тому, необхідні технічні рішення і заходи з урахуванням рівня надійності та експлуатаційних витрат, які забезпечать ефективність функціонування механічних приводів сільгосптехніки.

Література

1. Малащенко В. О., Янків В. В. Деталі машин. Проектування елементів механічних приводів : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2018. 264 с.
2. Токарський Ю. М., Янків В. В., Сірик З. О., Гошко М. О., Коненко І. Є. Механічні передачі. Розрахунок та конструювання : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2020. 152 с.

УДК 631.3

РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

DEVELOPMENT OF AN ENVIRONMENTALLY SAFE POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY UNDER THE CONDITIONS OF WESTERN POLISSIA, UKRAINE

Мерленко Ігор¹, Довганюк-Семенюк Марія¹, Мерленко Ніна²

¹Луцький національний технічний університет, Україна, м. Луцьк

²Ківерцівський національний природний парк «Цуманська пуща», Україна, м. Ківерці

The study explores the potential of an environmentally safe potato cultivation technology under the conditions of Western Polissia, Ukraine. Particular attention is given to the fertilization system (biofermented fertilizers) and plant protection system (biological products).

Серед базової сільськогосподарської продукції, яка гарантує продовольчу безпеку України, особливе місце займає картопля. Це обумовлюється винятково важливим її значенням безпосередньо для виготовлення високопоживних продуктів харчування, а також – кормами для тваринництва.

В сучасних умовах при вирощуванні картоплі фермери не зовсім дотримуються безпечних технологій, тому відбувається забруднення ґрунтів та продукції нітратами, залишковими кількостями отрутохімікатів, солями важких металів, а бульби отримують низького класу якості. Не раціональне використання засобів захисту рослин (ЗЗР), особливо гербіцидів та інсектицидів, призводить до хімічного забруднення ґрунтів, поверхневих вод, знищення корисної мікрофлори. В бульбах картоплі все частіше виявляють залишкові кількості пестицидів та значну кількість нітратів.

Виробництво картоплі в Україні є стабільним протягом кількох останніх років і коливається в межах 18–21 мільйонів тонн.

За даними FAOSTAT, серед найбільших виробників картоплі 2023 році перебувають такі країни: Китай – 93 491 818 тонн; Індія – 60 142 000 тонн; Україна – 21 358 630 тонн; США – 19 992 090 тонн; росія – 19 327 000 тонн; Німеччина – 10 497 430 тонн; Бангладеш : 9 872 000 тонн; Франція : 8 800 000 тонн; Польща : 8 200 000 тонн; Нідерланди : 7 885 000 тонн [5].

Картопля – це один з найпопулярніших та найпоширеніших продуктів у світі. Її цінують не лише за смак, але й за високу поживну цінність та багатий склад корисних речовин. Картопля забезпечує організм енергією та важливими нутрієнтами, які сприяють здоров'ю і доброму самопочуттю.

У наші дні картопля цінується не тільки як перший овоч, але і як лікарська рослина. Її бульби – справжня хімічна лабораторія. У них міститься до 25% крохмалю, який із давніх часів вживають в медичній практиці як ніжний протизапальний і обволікаючий засіб. Її застосовують при шлунково–кишкових розладах, а також для приготування нерухомих пов'язок у вигляді крохмальних бинтів. Бульби багаті клітковиною, пектиновими речовинами, вітамінами групи В, каротином, ліпідами, мінеральними солями й іншими сполуками. Цінність картоплі – в наявності вітамінів С, РР, К, групи В, провітаміну А. Вітаміну С в картоплі менше, ніж в інших овочах, але завдяки тому, що людина вживає цей продукт щодня, вона задовольняє свою потребу в цьому вітаміні [6].

Картопляна промисловість у всьому світі також спостерігає зростання інтересу до органічного виробництва. Країни на всіх континентах досліджують методи масштабування органічного виробництва картоплі, зберігаючи конкурентоспроможну врожайність.

Нами розроблена екологічно безпечна технологія вирощування картоплі, яка виключає застосування хімічних препаратів.

В останні десятиріччя відбуваються процеси, які пов'язані зі зміною клімату.

Відмітимо, що до даних проявів відносяться:

- прогресуюче підвищення середньої річної температури повітря в регіоні (у 2019 р. за даними більшості метеорологічних станцій в регіоні, було перевищено показник $+ 100^{\circ}\text{C}$);
- поступове, незначне за кількісними показниками, зростання середніх річних сум опадів з одночасними спостереженнями як дуже посушливих років (2015 р, середні суми опадів на 35–40% менші від кліматичної норми), так і досить вологих років (2009, 2016, 2017 рр., середні суми опадів на 3–8% перевищували кліматичну норму);
- зміщення у часі та тривалості сезонів року (запізнілий початок зими, раннє настання весни, збільшення тривалості перехідних сезонів);
- зміщення дат переходу температури повітря через 0°C , 5°C , 10°C та 15°C ;
- відсутність у холодний період сталого снігового покриву або нетривале його залягання;
- прояви стихійних небезпечних метеорологічних явищ, що не були характерними для регіону раніше (пилові бурі, суховії, посухи, буревії та смерчі, зливові дощі високої інтенсивності).

Враховуючи ці тенденції у характері формування агрокліматичних умов регіону, варто вказати на ряд можливих шляхів адаптації агрономічних технологій та організації ведення рільництва в даних умовах, а саме оцінка доцільності та ефективності впровадження культивування нових сільськогосподарських культур, нових адаптованих сортів, проведення їх районувannya в регіоні [4].

Попередники, місце в сівоzmіні, елементи технології. Виходячи з біологічних особливостей культури, а саме – слабозрозуміної кореневої системи, потреби в значній кількості кисню в ґрунті при формуванні стolonів і накопиченні маси бульб, та враховуючи короткий період вегетації, рослини слід розмішувати на родючих ґрунтах легкого механічного складу. В зоні Полісся – це дерново-підзолисті ґрунти, а в Лісостепу кращими для картоплі вважаються суглинкові ґрунти чорноземного типу.

Багаторічна практика вирощування цієї культури для картоплі на присадибних ділянках свідчить, що вона є однією з небагатьох рослин, що слабо реагують на сівоzmіну. Цим і користуються більшість фермерів. Однак, загальноприйнятою є точка зору, що врожайність картоплі тим вища і стабільніша, чим рідше ця культура висівається на одній і тій же площі. Для господарств зони Полісся і Лісостепу найкращими попередниками картоплі є озимі та зернобобові культури, багаторічні трави, сидерати, цибуля, редька, квасоля, зелений горошок, люпин на зелене добриво післязривного посіву.

Поганим попередником під картоплю є кукурудза з погляду на структуру ґрунту та застосовані гербициди. Не можна розмішувати картоплю після томату, баклажана.

Система удобрення. Внесення добрив під картоплю – обов'язкова умова одержання високих урожаїв бульб. В силу обставин, які склались на сьогодні, традиційних органічних добрив не вистачає, тому ми пропонуємо під картоплю вносити розкидачами РОУ-6, ПРТ-16М по 15 т/га ферментованих добрив – Біотерм-С або Гумоплант. Внесення Біотерм-С чи Гумоплант в нормі 10–15 т/га замінює внесення 60 т/га гною підстилкового. При цьому отримується високоякісна продукція рослинництва і зменшується забур'яненість полів [3].

Крім цього, рекомендуємо вносити по посівах картоплі двічі за вегетацію Сапрогум калію [1].

Біологічна система захисту картоплі. Давно відомо, що 30–50% урожаю сільськогосподарських культур утрачається внаслідок життєдіяльності 160 видів бактерій, понад 600 – вірусів, 8000 – фітопатогенних грибів, 3000 – комах і 2000 видів бур'янів [2].

На жаль, хімічний метод захисту рослин від шкідливих організмів і тепер займає провідне місце серед заходів боротьби за збереження врожаю.

Практичний інтерес до біологічного методу обумовлено тим, що він безпечний для людини і теплокровних тварин.

Біологічний метод полягає у використанні для захисту рослин від шкідливих організмів їх природних ворогів (хижаків, паразитів, гербофагів, антагоністів), продуктів їх життєдіяльності (антибіотиків, феромонів, ювеноїдів, біологічно активних речовин) та

ентомопатогенних мікроорганізмів з метою зменшення їх чисельності й шкодочинності і створення сприятливих умов для діяльності корисних видів у агробіоценозах, тобто застосування «живого проти живого».

Біологічні засоби можна використовувати без обмеження кратності застосування, в той час як кількість обробок рослин хімічними пестицидами суворо регламентована.

Основним завданням даного методу є вивчення умов, які визначають ефективність природних ворогів шкідливих організмів і розробка способів регулювання їх чисельності і взаємовідносин з популяціями шкідливих організмів. До природних ворогів комах належать ентомофаги (хижаки і паразити) та хвороботворні (ентомопатогенні) мікроорганізми. До останніх належать збудники вірусних, бактеріальних, грибних, протозойних і нематодних (паразитичні види круглих червів) захворювань.

Ефективні хижаки належать до ряду твердокрилих, багато видів, що застосовуються для захисту рослин від шкідників, належать до родини кокцинелід або сонечок, які живляться попелицями, листокрутками, білокрилками, кліщами–фітофагами. Деякі хижаки мешкають на рослинах (красотіл великий) і знищують гусінь непарного кільчастого шовкопряда, червононога жужелиця живиться личинками і лялечками колорадського жука.

Такі відносини між організмами існують у природі, й наше завдання – їх посилити.

Напрямки у біологічному захисті рослин можна звести у таку схему:

1. Використання природних ресурсів зоофагів.
2. Поповнення агробіоценозів корисними видами зоофагів, які там відсутні або щільність їх недостатня.
3. Застосування гормональних препаратів, зокрема ювеноїдів, та інших біологічно активних речовин, що порушують метаморфоз шкідливих видів.
4. Використання феромонів для порушення зв'язків між статями шкідників.
5. Застосування антифідантів, що порушують зв'язки шкідливих видів з кормовими рослинами.
6. Доцільно також виділити окремим пунктом застосування мікробіологічних препаратів як проти шкідників, так і проти збудників хвороб.

Існує ще окремий напрямок у захисті рослин – генетичний метод, при якому для скорочення щільності шкідників застосовується стерилізація комах чи інші методи, що порушують їх генетичну систему.

Потрібно ще додати про запровадження стійких сортів, що є також важливим елементом системи біологічного захисту рослин.

Яка ж є альтернатива «хімії»? Це застосування для обробки насіння препаратів біологічного походження: біопрепарату ФІТОЦИД, біоактиватора АЗОТОФІТ та прилиплювача ЛПОСАМ.

Норма витрат препаратів при комплексному використанні незначні: ФІТОЦИД 300 мл/т + АЗОТОФІТ 100 мл/т + ЛПОСАМ (0,5–0,7 л/т насіння), що разом з розумною ціновою політикою виробників мінімілізує витрати господарників.

Пропонуємо біологічні заходи захисту. Усі біопрепарати, які застосовуються тепер проти шкідників сільськогосподарських культур, за характером дії поділяються на три групи:

- перша – препарати типу ентобактерину (дендробацилін, БТБ, лепідоцид), до складу яких входять діючий початок — спори і токсини;
- друга – препарати типу боверину, створені на основі сапрофітних патогенів. До їх складу входять, в основному, спори збудника хвороби;
- третя – препарати, створені на основі облігатних паразитичних мікроорганізмів – вірусів, мікроспоридій (вірин ЕНШ, вірин КШ та ін.).

Використовують бітоксубацилін – порошок світло-коричневого кольору, із специфічним запахом, що не розчиняється у воді. Препарат кишкової дії, особливо чутливий до нього личинки молодших віків. Норма витрати – 30–50 г на 10 л води (у дозі 2–5 кг/га). Перше обприскування проводять у період масового відродження личинок, друге – через 8–10 днів після першого.

Препарати Боверин, Актофит, Бацилотурінг використовується проти колорадського жука, гусені яблуневої плодожерки, оранжерейної білокрилки, на ефіроолійних культурах;

Є відомості також про можливість використання репелентних (відлякуючих) властивостей й інших рослин (нагідки, овочеві боби, часник ярий, тютюн, цибуля), якщо їх висаджувати у міжряддях картоплі.

У період відродження личинок добрий ефект дають такі розчини і настої:

- настій гірчиці (1 : 10 і додають 40 г на 10 л води господарського мила);
- розчин оцту (на 10 л води одна пляшка оцту), розводять і відразу ж обприскують;
- настій перцю (на 10 л води 100 г меленого гірконого перцю і 40 г господарського мила);
- емульсія олій (готують 0,5%-ну емульсію і додають 50 г зеленого мила);
- відвар махорки, луски цибулі й часнику: 200 г махорки, 200 г лусок цибулі і 200 г свіжорозтертого часнику заливають 1 л води, кип'ятять 2 год на малому вогні, охолоджують, проціджують, доливають воду до 10 л і додають 40 г господарського мила;
- розчин дьогтю (дві столові ложки на 10 л води).

Є відомості про можливість приваблювання для збирання личинок колорадського жука курчат бройлерів, курей породи фавероль, цесарок і каченят-пекинок.

Велику корисну роль в агробіоценозах відіграють хижі жужелиці, що живляться комахами, котрі мешкають у ґрунті, а саме: гусеницями підгризаючих і листогризучих совок, лучного і стеблового метеликів, дротяниками та несправжньодротяниками. Тому, рекомендуємо їх активно застосовувати.

Проти фітофтори слід застосовувати такі методи боротьби без застосування фунгіцидів.

1. Настоя часнику: 50 г подрібненого часнику на 10 л води. Настояють добу. Додають 40 г господарського мила. Картоплю обприскують ввечері. Можна брати 200 г свіжоподрібнених головок часнику на 10 л води і настоювати не треба. Обробку повторюють через 5–6 днів.

2. Настій цибулі ріпчастої. Квіткові стрілки з цибулинами і молодими листками подрібнюють і замочують на 12 днів з розрахунку 1 кг на 30 л води. Перед обприскуванням проціджують і додають 40–50 г господарського мила. Обприскують 2–3 рази з інтервалом 5–6 днів (перше обприскування на початку бутонізації).

3. Передзбиральне видалення бадилля за два тижні до збирання.

Розроблено новий високоефективний і екологічно безпечний мікробний препарат Хетомік проти багатьох хвороб картоплі.

Отже, в наших умовах можна вирощувати високоякісні врожаї бульб картоплі без використання хімічних препаратів.

Література

1. Використання нетрадиційних добрив і мікробіологічних препаратів на радіоактивно забруднених територіях : наук.-метод. рекомендації / В. А. Гаврилюк, А. М. Бортнік, Т. П. Дідковська, І. М. Мерленко. Луцьк : ПП Іванюк В. П., 2010. 54 с.

2. Довідник картопляра / відп. за вип. С. С. Лишук, С. С. Моспан. Ужгород : Карпати, 1987. 202 с.

3. Мерленко І. М. Можливості використання ферментованих добрив в умовах нестачі традиційних органічних добрив. *Талановита організатор, вчена-практик, педагог* : матеріали Круглого столу присвячено 85-річчю від дня народження докторки біологічних наук, професорки Л.К. Тараненко (1938–2017), 2024. С. 128–130. URL: <https://dns.gb.com.ua/diyalnist/naukova-diyalnist/krugli-stoli/materiali-kruglog> (дата звернення: 25.03.2025).

4. Мерленко І. М., Федонюк В. В., Мерленко Н. О. Адаптація до сучасних кліматичних змін агрономічних технологій в Північно-Західному Поліссі. *Вплив кліматичних змін на просторовий розвиток територій Землі: наслідки та шляхи вирішення* : матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, Херсон, 10–11 червня 2021 року. Херсон : ХДАЕУ, 2021. С. 228–230.

5. Україна посіла третє місце в світі у вирощуванні картоплі... URL: <https://agrotimes.ua/ukrayi...> (дата звернення: 25.03.2025).

6. Харчова цінність картоплі: склад, користь та вплив на ... URL: <https://www.prowse.com.ua> ... (дата звернення: 25.03.2025).

УДК 631.3

ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАШИНИ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР

IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON VEGETABLE GROWING TECHNOLOGIES AND MACHINERY

Мороз Сергій, Васильковський Олексій

Центральноукраїнський національний технічний університет, Україна, Кропивницький

Modern technologies and equipment for growing vegetable crops using drip irrigation and tunnel greenhouses are considered, which allow minimizing the impact of changing weather and climatic conditions, which change every year in Ukraine in the direction of global warming.

Сільське господарство є однією провідних галузей світової економіки та головною, яка забезпечує продовольчу безпеку будь-якої країни. Воно забезпечує виробництво найбільш необхідних базових продуктів харчування. Однак не у всіх країнах є така галузь в силу географічних чи кліматичних особливостей. Необхідно враховувати, що не у кожній країні можливо вирощувати провідні сільськогосподарські культури, що впливають на продовольчу безпеку.

Зараз в нашій країні, як і в решті країн світу відбуваються зміни кліматичних зон. Кліматичні умови, що були властиві для південних регіонів України, стали властивими центральним регіонам. З кожним роком зростає середня температури повітря в кожній порі року та зменшується кількість опадів не тільки влітку, але й зимою. Літо стає більш посушливим, а зими теплішими та з меншою кількістю опадів.

Для зменшення впливу посухи застосовують різні види зрошування. Застосування зрошування дозволяє набагато зменшити вплив недостатньої вологості в ґрунті. Відомі кілька видів зрошування: поверхневе, підґрунтове, дощування та крапельне.

Поверхневе зрошування передбачає затоплення поверхні поля шаром води.

Підґрунтове зрошування застосовують для подачі води в коренемісні шари ґрунту з застосуванням різних видів перфорованих чи пористих капілярів.

Дощування є найбільш наближеним способом внесення вологості у шари ґрунту, починаючи з верхніх.

Крапельне зрошування передбачає подачу води до рослин по розгалуженій системі труб з отворами дуже малих діаметрів.

В нашій країні найбільше застосовувалися поверхневе зрошування та дощування. Перше застосовують в зонах вирощування рису в південних регіонах. Найбільше наші аграрії використовували дощування, як більш простий та дешевший та менш затратний спосіб насичення ґрунту вологою.

Найбільш новішою технологією штучного підвищення вологості ґрунту є крапельне зрошування, яке було розроблене ізраїльськими спеціалістами. Цей тип подачі вологості до рослин набув останнім часом великої популярності й застосовується не тільки на присадибних ділянках, але й аграріями, що спеціалізуються на вирощуванні овочевих культур.

Хоч кліматичні зміни призводять до підвищення температури навколишнього середовища та зменшення кількості опадів провідні вчені та компанії працюють над технологіями, що мінімізують вплив мінливого зовнішнього середовища на вирощування сільськогосподарських культур.

Однією з таких технологій є вирощування овочевих культур у сезонних теплицях тунельного типу з крапельним поливом рослин – парників.

Коротко технологію можна описати наступним чином. Навесні достатньо прогрітий ґрунт розпушують фрезерним агрегатом до пухкого стану. Після цього агрегат у складі трактора та плівкоукладчика укладає, на утворену між колями рушія грядку, труби крапельного поливу та закриває їх плівкою з отворами для розсади, краї якої присипаються ґрунтом (рис. 1) [1]. Для висадки розсади використовуються розсадосадильні машини, які висаджують розсаду овочевих культур в отвори плівки (рис. 2) [2]. Над висадженими рослинами машини для створення тунельних парників встановлюють каркас парника з склопластикових дуг, укладають на них плівку, краї якої засипаються ґрунтом (рис. 3 [3] та 4 [5]). По системі крапельного поливу подають до рослин воду або розчини добрив мікроелементів та фунгіцидів.



Рис. 1. Плівкоукладач Hortech P 190



Рис. 2. Розсадосадильна машина

За іншою технологією після розпушення ґрунту грядоутворювачами створюють гряди (рис. 5) [4], на поверхні яких прокладають труби крапельного поливу закривають плівкою, висаджують розсаду та утворюють над нею тунельний парник.



Рис. 3. Плівкоукладач на дуги



Рис. 4. Створення тунельного парника

Вітчизняний виробник сільськогосподарської техніки AGROMAP (м. Запоріжжя) налагодив випуск універсального плівкоукладача формувача тепличок, парників, тунелів (рис. 6) [5]. В залежності від оснащення він може після дообладнання спочатку укласти на поверхню гряди під плівку труби для крапельного зрошення, а після висадки розсади створювати тунельні парники.

Таким чином сучасні технології та стан техніки дозволяють вирощувати овочеві культури з мінімальним впливом на вегетацію рослин погодно-кліматичних умов, що складаються на теперішній час в Україні. Окрім того висаджують розсаду у парники набагато раніше ніж у відкритий ґрунт, що дозволяє отримувати урожаї, в залежності від строків стиглості сортів, з червня місяця. Зовнішня плівка захищає рослини від небажаних

низьких та занадто високих температур усередині тунелю парника. В цей же час плівка, що покриває гряди захищає насадження від бур'янів.



Рис. 5. Грядоутворювач та плівкоукладач для посадки ягідних і овочевих культур



Рис. 6. Грядоутворювач та плівкоукладач для посадки ягідних і овочевих культур

Література

1. Плівкоукладач Hortech Р 190. URL: https://uvc.com.ua/product/hortech-mod-p/?srsltid=AfmBOormWD8LhoyM7lkVqpPjHODcvQ3XBoLB7JlxO0en5_6Y4XTgQgU (дата звернення: 03.04.2025).
2. Розсадосадильна машина. URL: https://hydromarket.com.ua/ua/g110113469-rassadoposadochnye-mashiny?srsltid=AfmBOoq6Cl8vmFMYkzi0nS5-SyIWLz7_DInpBartDL DST9mJ9eNgidoG (дата звернення: 03.04.2025).
3. Плівкоукладальник на дуги. URL: <https://agro-sintez.com.ua/product/plivkoukladalnik-na-dugi/> (дата звернення: 03.04.2025).
4. Грядоутворювач та плівкоукладач для посадки ягідних і овочевих культур. URL: <https://klioma-servise.in.ua/ua/p971772568-plenkoukladchik-gryadoobrazovatel-dlya.html> (дата звернення: 03.04.2025).
5. Пленкоукладник формувач тепличок, парників, тунелів. URL: <https://agromap.biz/пленкоукладчик-формирователь-теплич/> (дата звернення: 03.04.2025).

УДК 631.3.631

СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ РОБОТОТЕХНІКИ ДЛЯ ПОТРЕБ АПК

THE CURRENT STATE AND PROSPECTS OF THE ROBOTICS MARKET FOR THE NEEDS OF THE AGROINDUSTRIAL COMPLEX

Налобіна Олена, Михайлов Артем

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

The research conducted by the authors is aimed at identifying the main trends in the development of robotics for the agro-industrial complex. More than 15 models of robots for the crop industry, including robotic tractors, were analyzed. The main directions of development of this equipment and the advantages of its application are determined. Based on the analysis of existing robotic complexes and robotic technical means for animal husbandry, the main directions of application of robots in the livestock sector of the agro-industrial complex are identified. The authors also outline the main problems faced by the process of introducing robotics in agriculture.

Проведені авторами дослідження спрямовані на виявлення основних тенденцій розвитку робототехніки для агропромислового комплексу. Проаналізовано понад 15 моделей роботів для рослинницької галузі, у тому числі й роботизовані трактори. Встановлено основні напрямки розвитку даної техніки, переваги її застосування. На основі аналізу діючих роботизованих комплексів і роботизованих технічних засобів для тваринництва встановлено основні напрямки застосування роботів у тваринницькій галузі АПК. Авторами також окреслено основні проблеми з якими стикається процес впровадження робототехніки в сільському господарстві.

Зростання населення Зелі і, як наслідок, зростаюча потреба у розвитку виробництв, урбанізація і нестача робочої сили, а також зростаючі екологічні проблеми стимулюють пошук шляхів підвищення ефективності сільського господарства завдяки запровадженню новітніх технологій і інноваційних методів управління. Робототехніка та автономні системи покликані перетворювати галузь сільськогосподарського господарства.

Метою нашого дослідження було провести аналіз ринку роботизованої техніки для сільськогосподарського виробництва, напрямки її застосування, виявити позитивні та негативні ефекти її застосування.

Один з найбільших у світі інвестиційних банків, «Goldman Sachs» (США) прогнозує, що ухвалення технологій нового покоління здатне збільшити продуктивність сільського господарства на 70% до 2050 року [1].

Технічне переозброєння сільського господарства на довгострокову перспективу передбачає розвиток нового покоління інтелектуальних, гнучких і надійних роботизованих систем, що будуть працювати у взаємодії з людьми.

Для проведення дослідження було окреслено основні напрямки у сфері розроблення аграрних роботів:

- створення роботів для рослинництва та тваринництва;
- створення безпілотної агротехніки.

В даний час багато аграрних ферм вимушено закриваються, оскільки їх витрати зростають без динаміки у зростанні доходів. Одна із суттєвих статей витрат – це інвестиції в трактори. Традиційні важкі трактори – ключовий вид обладнання для більшості господарств, але тут слід згадати й про один з побічних ефектів їхнього застосування: руйнування ґрунту та нанесення шкоди навколишньому середовищу.

Застосування автономних тракторів здатне призвести до значного зниження витрат на

оплату праці, зменшення витрат на обслуговування застарілої техніки та підвищення прибутковості агробізнесу.

Як показує аналіз основні технології і принципи роботи, на яких базується функціонування роботизованого трактора:

- застосування лазерів, сенсорів, радарів, систем GPS і інших безпроводних технологій;
- контроль за тракторами здійснюється віддалено з планшету або з іншого трактора, що працює в полі (технологія «фрухайся за мною»);
- закладання складних алгоритмів поведінки (об'їзд перепон або зупинка за умови зустрічі з ними).

Відмітимо перспективні технології на ринку розробок роботизованих тракторів:

- автономна колективна робота групи тракторів;
- віддалене управління або повна автономність роботи;
- орієнтування за допомогою GPS;
- електрична трансмісія.

На підставі проведеного дослідження характеристик безпілотних тракторів можна робити висновок про переваги їх застосування:

- агросекторі;
- робота на протязі доби, що дозволяє скоротити строки виконання робіт;
- безпечне робоче місце;
- вирішення кадрового питання;
- вирішення питання відтоку робочої сілі;
- підвищення точності обробки ґрунту, і, як наслідок, ефективності сільськогосподарських операцій;
- системи точного позиціонування, що дозволяють визначати зону перекриття, знизити перевитрату добрив і хімікатів і, як наслідок, знизити операційні витрати;
- підвищення продуктивності кадрів завдяки автоматизації функцій, які повторюються.

Таблиця 1

Огляд ринку роботизованих тракторів

Найменування	Характеристики	Вигляд
Автономні трактори «Auto Tractor» «Robot Tractor», «Yanmar Agri» (Японія)	Потужність 88–113 к.с. Управління – планшет. Причому один оператор має можливість управляти декількома тракторами. Трактор виконує роботи у групі або один, використовуючі систему «Smartpilot»	 

продовження табл. 1

«AT400 Spirit», «Autonomous Tractor Corporation» (США)	Оснащений «Edrive» – дизель-електричним силовим устаткуванням (генератор 250 кВт, електрична трансмісія). Комплектації: 200 к. с. Або 400 к. с. Без кабіни. Економія палива 15–20%. Зменшене ущільнення ґрунту. Потужність: 404 л. с. – Місткість паливного бака: Дизель: 980 літрів / DEF: 88 літрів	
AgXeed, Нідерланди	Трактор безпілотний. 8-тонна вантажопідйомність задньонавісного пристрою, 3-тонна – фронтального механізму. Система регулювання ширини колії зі змінними гусеничними шасі. Живлення від гібридної силової установки – силовий дизельний агрегат Deutz 115 кВт.	

Для вирішення задач як у рослинництві так й у тваринництві широко застосовуються роботизовані комплекси та устаткування. З метою якісного дослідження ринку роботизованих устаткувань класифікуємо їх за типом робіт, які вони виконують: роботизовані комплекси для знищення бур'янів; роботи для збирання ягід, овочів, фруктів; роботи для моніторингу полів; роботи для тваринництва.

За даними аналітиків компанії Пендо [2] резистентність на даний час розвили більш ніж 514 видів бур'янів у понад ніж 70 країнах світу. Це створює умови для запровадження роботів-пропалювачів – як автономних, так і керованих людиною. Обсяг цього ринку прогнозується на рівні 400 млн. дол. США вже 2025 р.

У роботів для пропалювання закладено функції розпізнавання та знищення бур'янів. Способи знищення бур'янів можуть бути різними: за допомогою пестицидів, механічним способом, за допомогою лазера.

З урахуванням підвищення вимог до засобів захисту рослин перспективними є технології видалення бур'янів без застосування гербіцидів. Нижче подано огляд ринку роботів для пропалювання (табл. 2).

Таблиця 2

Огляд ринку роботів для знищення бур'янів

Найменування	Характеристика	Вигляд
Робот-прополювач «Ecorobotix», (Швейцарія)	Автономний робот масою 130 кг на колісному ході. За допомогою датчиків та відеокамер робот розпізнає бур'яни та точково розпилює на них зімікати. Керування – смартфон. Працює від сонячних батарей. Час безперервної роботи 12 годин. Дозволяє у 2–3 рази зменшити об'єми витрачених гербіцидів.	
Element – прополочна робоплатформ	Element переміщається вздовж рядів посівів в автономному режимі, здійснює механічне прополювання, формує статистику та аналіз сільськогосподарських даних – при цьому не забруднює ґрунт і не отруює рослини хімікатами. Розробники розраховують надавати агроботів у форматі RaaS (робот як послуга)	

Аналіз роботизованих систем для тваринництва показав, що практично всі вони призначені для виконання робіт з годівлі та доїння великої рогатої худоби, а також очищення проходів тваринницьких приміщень від гною на фермах для утримання великої рогатої худоби (ВРХ) [3]. Всі роботи можна згрупувати наступним чином:

- системи годівлі тварин: автоматизовані пастухи, роботи змішувачі-кормороздавачі, інтегровані роботизовані системи для годівлі;
- доїльні роботи;
- роботи для чистки стійл.

Широке застосування в тваринництві знайшли інтегровані роботизовані системи, які являють собою об'єднаних в єдину технологічну лінію роботів, що взаємодіють між собою.

Аналіз конструкцій роботів дав можливість окреслити основні їхні переваги:

-головна перевага роботів – вони виконують поставлені перед ними завдання без втручання фермера, здатні накопичувати та аналізувати інформацію;

- застосування роботизованої сільськогосподарської техніки веде до підвищення продуктивності та скорочення витрат;

-роботизована сільськогосподарська техніка сприяє зменшенню використання пестицидів та хімічних добрив. Роботи можуть застосовувати ці засоби більш точно та економічно, що знижує їх негативний вплив на довкілля.

Огляд ринку роботів для сільського господарства та аналіз наукових досліджень [3–7] дали можливість визначити основні проблеми їхнього запровадження:

- висока вартість придбання та обслуговування;

- складність навчання персоналу;

- потреба в розроблянні складних алгоритмів для забезпечення точного виконання поставлених завдань.

Не зважаючи на труднощі роботи мають велику перспективу в галузі АПК.

Література

1. Goldman Sachs. URL: <https://www.goldmansachs.com/> . (дата звертання: 01.04.2025).
2. Пропозиція. URL: <https://propozitsiya.com/ua/do-2025-g-mirovoy-rynok-robotov-dlya-propolki-sornyakov-budet-sostavlyat-400-mln> . (дата звертання: 01.04.2025).
3. Vidoni Renato & Carabin Giovanni & Quaglia Giuseppe & Botta Andrea & Reina Giulio & Galati Rocco. Advances in mobility platforms for agricultural robots. 10.19103/AS.2023.0124.08. 2024.
4. Qu Z, Zhang P, Hu Y, Yang H, Guo T, Zhang K, Zhang J. Optimal Design of Agricultural Mobile Robot Suspension System Based on NSGA-III and TOPSIS. *Agriculture*. 2023. Vol. 13(1). P. 207. <https://doi.org/10.3390/agriculture13010207>
5. Bruzzone Luca & Nodehi Shahab & Fanghella Pietro. Tracked Locomotion Systems for Ground Mobile Robots: A Review. *Machines*. 10. 648. 10.3390/machines10080648. 2022.
6. Quail Christopher & Carolis Evrard & Auat Cheein Fernando. Legged Robots in the Agricultural Context: Analysing Their Traverse Capabilities and Performance. 01-07. 10.1109/IECON51785.2023.10312233. 2023.
7. Skrickij Viktor & Kojis Paulius & Šabanovič Eldar & Shyrokau Barys & Ivanov Valentin. Review of Integrated Chassis Control Techniques for Automated Ground Vehicles. *Sensors*. 24. 600. 10.3390/s24020600. 2024.

УДК 633.522

ЛЬОНАРСЬКА ГАЛУЗЬ В УКРАЇНІ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ

FLAX INDUSTRY IN UKRAINE. PROBLEMS AND PROSPECTS

Номирівська Анастасія, Налобіна Олена

Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне

In Ukraine, the flax complex is an industry that requires innovative approaches to its revival, which can produce a wide range of modern flax products for various industries. The paper analyzes the problems of the flax industry in Ukraine and the prospects for its development.

В Україні лляний комплекс є галуззю, яка потребує інноваційних підходів до її відродження, яка може виробляти широкий асортимент сучасної лляної продукції для різних галузей. У роботі розглянуто проблеми льонарської галузі в Україні та перспективи розвитку.

Льон–довгунець є традиційною для України технічною сільськогосподарською культурою. Ця рослина була відома нашим предкам дуже давно. Перші залишки волокон льону-довгунця на території України, що відносяться до VI століття до н.е., були знайдені археологами в районах Придніпров'я. «Традиційна аграрна культура України – льон – є єдиним в Європі відновлюваним джерелом целюлозної текстильної сировини» [1].

Для вирощування льону-довгунця в Україні, особливо в районах Полісся та в передгір'ї Карпат, сприятливі як кліматичні умови, так і ґрунти [2].

Розвиток льонарства в Україні має важливе як економічне, так і соціальне значення [3–5]. В аграрному секторі країни льонарство дасть можливість залучити нові людські ресурси та підвищити ефективність використання сільськогосподарських земель. У промисловості галузь може забезпечити вітчизняною сировиною текстильні підприємства, а, отже, сприятиме зростанню доходів і рівня зайнятості як сільського, так і міського населення, підвищенню якості життя. Все це доводить необхідність розробки і впровадження вітчизняних засобів механізації льонарства, а також доцільність і необхідність розвитку фундаментальних і прикладних досліджень, спрямованих на розвиток галузі льонарства.

В даний час посилюється роль натуральних, а особливо луб'яних та інших альтернативних волокон в одязі. Унікальні властивості лляних і прядив'яних волокон покращують споживчі властивості тканин, підвищують якість одягу, дозволяють відповідати новим тенденціям моди.

Льон із групи натуральних волокон поступово витісняє бавовну та займає провідне місце в асортименті сировини для текстильних виробів. Маючи комплекс цінних властивостей, вироби зі льону постійно оновлюються. Найчастіше льон доповнює свої якості у сумішах з іншими волокнами. 61% світового обсягу довгого льоноволокна виробляють у Франції; 14% – у Бельгії; 14% – в Єгипті; 2% – інші країни.

Площі посіву льону – довгунця в Україні у 2024 році в порівнянні з 2021 зросли на 50%. Але є незначними (0,6 тис. га) [6]. Наприкінці вісімдесятих років в Україні вирощували 200 тис. га льону. Україна протягом багатьох років була лідером у виробництві льоноволокна, питома вага якого становила 14% світового ринку.

Однією з причин недостатнього розвитку галузі є падіння попиту на льон з боку переробників, в результаті чого сільгоспвиробники змушені були переорієнтуватися на коротке волокно, яке має ширший спектр застосування – виробництво целюлози, медичних бинтів, паперів і композиційних і будівельних матеріалів із льону.

Кожен із виробів потребує відповідної якості волокна, з жорстко закріпленими у стандартах вимогами до фізико-механічних і технологічних показників. Це, в свою чергу, передбачає дотримання спеціалізованих сівозмін.

Крім того, в Україні скоротилась кількість підприємств та господарств, що ведуть

насінництво та районування нових сортів.

Також на ситуацію в лляній галузі негативно впливає відсутність спеціалізованого кластера, починаючи від аграріїв та закінчуючи підприємствами з виробництва готових виробів.

Крім цього, для роботи з льоном необхідна спецтехніка, яку в Україні не виробляють. Проблема забезпечення льоководів парком спеціалізованих машин стоїть досить гостро: техніка, яка підходить для сівби та збирання інших культур, або зовсім не пристосована для льону, або вимагає оснащення додатковими пристосуваннями.

Відомими виробниками техніки для льонарства є:

- бельгійська фірма Union Machines, яка випускає для льонарства сучасні та надійні машини, а саме самохідну льонобралку та обертач стрічок льону;
- французька компанія Dehondt, яка випускає розмотувачі рулонів льону;
- компанія Amazone, яка випускає універсальну сівалку DMC Primega
- та інші.

Дані машини є дорогими, тому попиту на дану техніку в Україні немає. Тому для збільшення виробництва конкурентоспроможної продукції льонарської галузі необхідно підвищувати її технологічний.

Це передбачає вирішення наступних завдань:

- підвищення врожайності та якості льонопродукції на основі використання вітчизняних машинних технологій, адаптованих до конкретних ґрунтово-кліматичним та господарським умовам;
- зниження енергоспоживання та трудовитрат за рахунок використання високопродуктивної техніки та ресурсозберігаючих технологій.

Для ефективного розвитку аграрного сектора льонарства в Україні є вагомі передумови:

- обмежені світові ресурси для виробництва бавовни і, як наслідок, високий рівень цін на цю сировину;
- швидкий розвиток інноваційних технологій виробництва матеріалів із застосуванням лляного волокна в світі, що призвело до зростання попиту на лляну целюлозу;
- кліматичні умови в Україні є сприятливими для вирощування льону, а саме лляне волокно є найбільш якісним із усіх луб'яних волокон.

В даний час вироби з льону широко використовуються в різних галузях економіки. Зростання попиту на лляне волокно останніми роками дедалі частіше демонструє зовнішній ринок. Український льон може задовольнити потреби місцевої пряжі, текстилю та целюлози.

З цією метою необхідно побудувати льонозаводи, збільшити приріст посівних площ та виробництва для задоволення потреб промисловості, а також у найкоротші терміни покращити якість льоноволокна. Потрібна державна підтримка в області технічного обладнання, а також потрібні субсидії на вирощування насіннєвого матеріалу високорослих та масових репродукцій.

Література

1. Галузева програма розвитку льонарства в Україні. URL: <http://www.minagro.kiev.ua/page/?7203>. (дата звернення: 25.03.2025).
2. Льон-довгунець / Електронна енциклопедія сільського господарства. URL: <http://www.agroscience.com.ua/plant/lon-dovgunets>. (дата звернення: 25.03.2025).
3. Збірник наукових праць Інституту луб'яних культур УААН. Глухів : ІЛК УААН, 2007. 134 с. (Спец. вип.)
4. Збірник наукових праць Інституту луб'яних культур УААН. Глухів : ІЛК УААН, 2007. 225 с. – (Вип. 4).
5. Збірник наукових праць Інституту луб'яних культур УААН. Суми : БАТ «СОД», 2009. 198 с. – (Вип. 5).
6. Посівні площі сільськогосподарських культур під урожай 2024 року. Статистичний бюлетень. URL: https://www.gusrv.gov.ua/katalog/2024/menu_sg.htm (дата звернення: 25.03.2025).

УДК 631

**ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОТУЖНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ЗЕРНООЧИСНОЇ
МАШИНИ МЗПІ-10 ТА КОНКУРЕНТНИХ АНАЛОГІВ**

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE POWER OF THE MODERNIZED GRAIN CLEANING
MACHINE MZPI-10 AND COMPETITIVE ANALOGUES**

Олексієнко Дмитро, Кобан Євгеній, Васильковський Олексій

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

A review of modern grain cleaning machines and an analysis of their performance were carried out. The energy efficiency of serial grain cleaning machines and the experimental one equipped with the original centrifugal direct-flow working body of the fifth generation was compared and its superiority was established.

Ефективність зерноочисних машин є важливим показником у забезпеченні високої якості очищення зерна та оптимізації енергоспоживання. Модернізація існуючих агрегатів спрямована на підвищення продуктивності та зниження витрат енергії. Нами розглянуто порівняння потужності модернізованої зерноочисної машини МЗПІ-10 з серійними конкурентними моделями.

Насіннеочисна машина СМ-4 (рис. 1) [1] оснащена класичним плоскорешітним коливальним сепаратором і замкненою системою аспірації. Крім того, машина оснащена трієрними блоками для відділення довгих і коротких домішок. Особливості: універсальна машина для сортування та обробки різних зернових і насінневих культур; може експлуатуватися як на відкритих токах, так і в закритих складських приміщеннях. Продуктивність машини – 4-6 т/год., при цьому встановлена потужність двигунів – 5,2 кВт), при масі – 2,15 т.



Рис. 1. Насіннеочисна машина СМ-4

Розрахункові питомі енергетичні витрати, віднесені до продуктивності машини СМ-4 становлять 0,86 кВт год./т.

Зерноочисна машина ОВС-25 [2] – класичний серійний самопересувний очисник вороху (рис. 2), який здійснює попереднє та первинне очищення зерна більшості сільськогосподарських культур, працює на відкритих токах і у закритих ангарах аграрних підприємств, при цьому забезпечує продуктивність – 25 т/год (при попередньому очищенні).

Встановлена потужність електродвигунів, встановлених на машині складає 9,2 кВт. Маса машини – 1950 кг.



Рис. 2. Очисник вороху самопересувний ОВС-25

Розрахункові питомі енергетичні витрати, віднесені до продуктивності машини ОВС-25 становлять 0,37 кВт год/т.

Зерноочисна машина ОВУ-25 [3] (рис. 3) має аналогічну до ОВС-25 будову основних робочих органів, однак оснащена більш досконалою системою очищення повітря циклоном і тримерний вивантажувач очищеного зерна (зернопульт). Ворохоочисник забезпечує продуктивність попереднього очищення зерна 25 т/год, має встановлену потужність двигунів – 15,1 кВт і масу – 2370 кг.



Рис. 3. Очисник вороху ОВУ-25У

Розрахункові питомі енергетичні витрати машини ОВУ-25У становлять 0,6 кВт год/т.

На кафедрі сільськогосподарського машинобудування Центральноукраїнського національного технічного університету було удосконалено зерноочисну машину МЗПІ-10 [4–6]. Під час модернізації вдалося досягнути низки ефектів, серед яких виділимо:

- ефективність очищення: завдяки встановленню блоку пруткових решіт у похилому аспіраційному каналі досягається більш ретельне видалення легких домішок, що підвищує якість кінцевого продукту;
- компактність та зменшена маса: перехід від двократної до однократної системи аспірації дозволив зменшити габарити та вагу машини, що спрощує її транспортування та встановлення;

- енергоефективність: пневморешітний модуль оригінальної конструкції забезпечує оптимальне співвідношення між енергоспоживанням та продуктивністю, що зменшує експлуатаційні витрати.

Машина забезпечує продуктивність при первинному очищенні 10 т/год, а при виконанні попереднього очищення, продуктивність гарантовано становить 15 т/год. Встановлена потужність електродвигунів – 3,7 кВт. Маса машини – близько 315 кг.

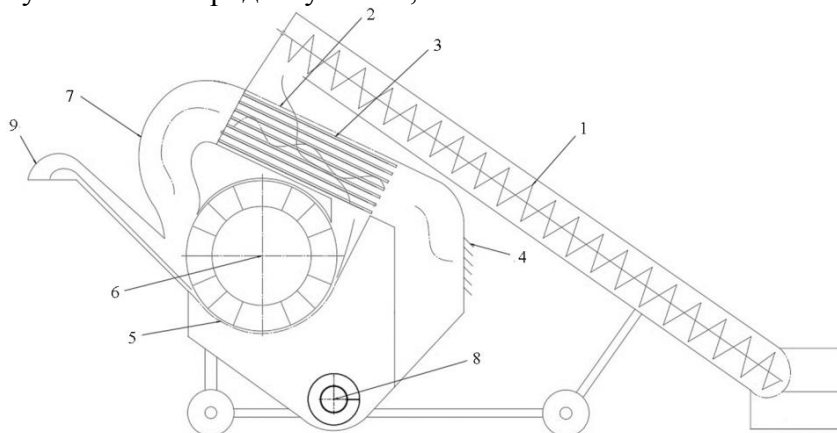


Рис. 4. Удосконалена зерноочисна машина МЗПІ-10

Розрахунок питомих енергетичних витрат удосконаленої машини МЗПІ-10 становлять лише 0,24 кВт год/т, при цьому маса запропонованого ворохоочисника і, очевидно, що собівартість виготовлення, суттєво менша за серійні аналоги, що робить його конкурентоздатним і перспективним для впровадження у виробництво.

Література

1. НАСІННООЧИСНА МАШИНА СМ-4. URL: <https://kamrud-techno.com/product/tech/agri-teh/sm-4/>. (дата звертання: 01.04.2025).
2. Ворохоочисник ОВС-25. URL: <https://teteriv2.com.ua/blog/item/3>. (дата звертання: 01.04.2025).
3. Очисник вороху посилений ОВУ-25 з циклоном і тримером «ЯСТРУБ». URL: https://zavodmoroza.com/zernoochisna-tehnika/ochistitel-voroha-usilennyj-ovu-25-s-ciklonom-i-trimmerom?gclid=Cj0KCQjwhr6_BhD4ARIsAH1YdjCaLVZEV-TAHRH0yH8_3dRtPT1SnTsAd1aLzw12wQcvF7Knt9IuvSwaArvFEALw_wcB. (дата звертання: 01.04.2025).
4. Повітряно-решітний сепаратор: пат. 85117 У Україна, МПК (2006) В07В 13/08 (2006.01), В07В 7/00, В02В 3/00. (Україна); заявник і патентотримач Васильковський Михайло Ігоревич. № а200703659; заявл. 03.04.2007; опубл. 25.12.2008, Бюл. № 24 / Васильковський М. І., Васильковський О. М., Лещенко С. М., Мороз С. М., Нестеренко О. В.
5. Васильковський О. М., Васильковський М. І., Осипов І. М. Обґрунтування конструктивних параметрів інерційного прямооточного сепаратора зерна. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин* : загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. 1999. Вип. 29. С. 234–238.
6. Васильковський О. М., Васильковська К. В. Економічні аспекти використання зерноочисних машин в Україні. *Механізація та електрифікація сільського господарства* : міжвідомчий тематичний науковий збірник Глеваха : Національний науковий центр «ІМЕСГ», 2010. Вип. 94. С. 220–224.

УДК 631.363:636.22/28

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН ДЛЯ ТОЧНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

INNOVATIVE APPROACHES TO IMPROVING THE EFFICIENCY OF MACHINES FOR PRECISION FERTILISER APPLICATION

Остапенко Валерій, Кажуро Максим

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця

Забезпечення сталого та високопродуктивного сільськогосподарського виробництва вимагає ефективного використання ресурсів, зокрема мінеральних добрив. Одним із найбільш актуальних напрямків сучасного агрономічного машинобудування є розробка та впровадження технологій точного внесення добрив, що дозволяють мінімізувати витрати ресурсів та знизити негативний вплив на навколишнє середовище. У цьому контексті виникає необхідність у розробці інноваційних рішень для підвищення ефективності машин, що використовуються для точного внесення мінеральних добрив.

Традиційні методи внесення добрив не завжди забезпечують необхідну точність та рівномірність розподілу добрив, що призводить до нераціонального використання ресурсів і, як наслідок, зменшення економічної ефективності сільськогосподарського виробництва. Однак, з розвитком технологій автоматизації, сенсорних систем і точного землеробства, виникають нові можливості для значного покращення процесу внесення добрив.

На рисунку представлено посівний комплекс з розробленою пневматичною висівною системою для припосівного внутрішньо-грунтового диференційованого внесення основної та стартової дози гранульованих мінеральних добрив у системі точного землеробства [3]. Посівний комплекс агрегується на основі трактора третього класу.

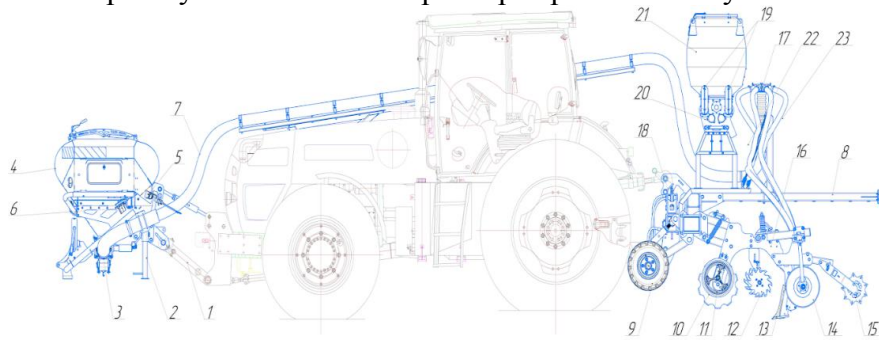


Рисунок. Конструктивно-технологічна схема посівного комплексу для диференційованого внесення мінеральних добрив: 1 – передня навіска; 2 – стоянкові опори; 3 – вентилятор; 4 – бункер мінеральних добрив; 5 – розетки системи електронного дозування; 6 – електродвигун приводу заслінки; 7 – тукопровід; 8 – рама; 9 – опорні колеса; 10 – дисковий робочий орган; 11 – опорне колесо дискового ножа; 12 – культер; 13 – сошник для насіння і добрив; 14 – прикочувальне колесо; 15 – коток; 16 – плаваюча рама; 17 – розподільник мінеральних добрив; 18 – механізм навіски; 19 – пневмовентилятори насіннєвого бункера; 20 – система дозування насіння; 21 – насіннєвий бункер; 22 – насіннепровід; 23 – тукопровід

Найбільш суттєвими факторами обробітку ґрунту даним посівним комплексом є глибоке рихлення ґрунту з одночасним внесенням добрив (основної та стартової дози) та якісне формування насіннєвого ложа. Даний посівний комплекс працює за технологією смугового обробітку ґрунту, що набуває широкого поширення останнім часом в Україні на основі аналізу закордонного досвіду.

До складу посівного комплексу входить розкидач мінеральних добрив та посівний

агрегат, що працює за технологією смугового обробітку ґрунту. Механізм для внесення мінеральних добрив встановлюється на передню навіску трактора, який обладнано гідравлічною системою та з'єднується тукопроводом 7 з посівним агрегатом.

Основні компоненти механізму для внесення мінеральних добрив: металевий бункер 6, місткістю до 680 л, що кріпиться на трьохточковій навісці, блок керування Performer 530, датчик швидкості руху (кабель, індуктивні датчики, GPS антена), електродвигун 12 В, який під'єднується до блока керування Performer 530, допоміжна система для горизонтального транспортування добрив (циклон), вентилятор, повітряний сепаратор, гідравлічний привод, розподільник, розподільні шланги зі системою STOP/START.

Блок керування Performer 530 встановлюється в кабіні трактора і потребує напруги 12 В. Блок керування Performer 530 дозволяє проводити точне і автоматичне дозування добрив та дрібного насіння, відповідно до швидкості руху і ширини механізму для внесення добрив, а також дозволяє постійно корегувати витрату і дозу добрив для рівномірного розподілу під час сівби. Механізм для внесення мінеральних добрив устанавлюється на передній частині трактора та під'єднується до сівалки точного висіву.

Використання навісного механізму у складі МТА на базі тракторів тягового класу 3 дозволяє:

- знизити витрати пального при виконанні певних сільськогосподарських робіт (внесення мінеральних добрив), за рахунок зменшення кількості проходів та витрат палива при переїздах до місця роботи;

- знизити негативний вплив ущільнення ґрунту за рахунок об'єднання 2 операцій у складі одного комбінованого МТА;

- довантажити передню вісь трактора, що дозволяє більш ефективно його використовувати та покращити щеплення передніх коліс;

- полегшити роботу тракториста.

При роботі посівного комплексу за технологією «точного землеробства», диференціація основної дози внесених добрив здійснюється відповідно до електронної карти внесення добрив. Місце положення агрегату на полі визначається при допомозі приймача сигналів глобальної системи позиціонування. Контроль і керування технологічним процесом диференційованого внесення добрив здійснюється бортовим комп'ютером. На комп'ютері встановлено відповідне програмне забезпечення. При переході агрегату з однієї ділянки поля на іншій відбувається зміна основної дози внесених добрив.

Інноваційні технології для точного внесення мінеральних добрив мають значний потенціал для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва. Застосування автоматизованих систем, GPS-навігації та сенсорних технологій дозволяє знизити витрати добрив, зберегти ресурси та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Технології точного внесення забезпечують оптимальне використання добрив, покращуючи стан ґрунтів та зменшуючи забруднення водних ресурсів.

Подальші вдосконалення цих технологій дозволять збільшити їх ефективність та адаптивність, що стане важливим етапом розвитку агрономічного машинобудування та підтримки сталого розвитку аграрного сектора. Інтеграція інновацій у процеси точного землеробства сприятиме підвищенню продуктивності та екологічної стійкості.

Література

1. Концепція розвитку точного землеробства в Україні. Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О.Н. Соколовського». Колектив авторів. Харків, Видав. Міськдрук, 2010. 36 с.

2. Руткевич В. С., Остапенко В. А. Розроблення висівної системи посівного комплексу для внутрішньо-ґрунтового диференційованого мінерального удобрення з одночасною сівбою зернових культур. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. 2024. № 1 (330). С. 264–270.

3. Руткевич В., Остапенко В., Кажуро М. Теоретичне дослідження умов роботи дозуючих робочих органів посівного комплексу для диференційованого внесення добрив. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. 2024. № 4 (339). С. 91–96.

УДК 631.316.5:004.93

РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОСІВІВ НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА ДРОНІВ

DEVELOPMENT OF A CROP CONDITION MONITORING SYSTEM BASED ON SATELLITE IMAGES AND DRONES

Пилипака Тарас, Шуманський Андрій, Ходаківський Іван

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

У сучасному сільському господарстві цифрові технології відіграють ключову роль у підвищенні ефективності виробництва, зниженні витрат і забезпеченні екологічної сталості. Одним з найбільш перспективних напрямів є використання систем дистанційного моніторингу стану посівів, що ґрунтуються на поєднанні супутникових знімків та даних, отриманих з безпілотних літальних апаратів (дронів). Розробка такої системи дозволяє здійснювати постійний контроль за вегетацією культур, своєчасно виявляти стресові зони та оперативно приймати агротехнічні рішення.

Актуальність цієї теми обумовлена необхідністю впровадження високоточних агротехнологій, особливо в умовах змін клімату та нестабільності природних чинників, які все більше впливають на аграрне виробництво. Моніторинг стану посівів за допомогою супутникових та дронівих даних дозволяє підвищити точність оцінювання розвитку рослин, своєчасно виявляти дефіцит вологи, поживних речовин або ураження шкідниками. Також така система є важливою складовою прецизійного землеробства [1; 2].

Для реалізації проєкту було обрано поєднання двох основних джерел даних: супутникових знімків середньої та високої просторової роздільної здатності (Sentinel-2, PlanetScope) та аерофотознімків, отриманих із дронів, обладнаних мультиспектральними камерами. Супутникові знімки забезпечують оперативний загальний огляд стану полів із великою площею покриття, тоді як дрони дозволяють деталізувати інформацію на локальному рівні з точністю до кількох сантиметрів. Це дозволяє комбінувати широкий огляд з високою деталізацією.

Методика розв'язання задачі розробки системи моніторингу полягала у побудові інфраструктури збору, обробки та аналізу даних. На першому етапі здійснюється збір супутникових знімків з відкритих джерел, таких як Copernicus Open Access Hub. Паралельно здійснюється планування польотів дронів за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, враховуючи координати ділянок та погодні умови. Після збору даних настає етап попередньої обробки: калібрування зображень, усунення атмосферних впливів, приведення до єдиного просторового формату [3; 4; 5].

Далі зображення обробляються за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення (наприклад, QGIS, Pix4D, ENVI) для розрахунку вегетаційних індексів, таких як NDVI, GNDVI, SAVI, які дозволяють оцінити рівень фотосинтетичної активності рослин. Для поліпшення точності аналізу використовуються методи машинного навчання, зокрема класифікація станів рослин з урахуванням історичних даних, типу ґрунту, погодних умов та агрономічних заходів (рисунки). Дані з дронів застосовуються для верифікації супутникової інформації та створення точних карт зонування полів.

Особливу увагу приділено розробці програмного інтерфейсу для агрономів і фермерів, який дозволяє легко інтерпретувати отримані дані. Інтерфейс відображає карти стану посівів з можливістю накладення на них планів обробітку, норм добрив, прогнозів врожайності та рекомендацій щодо подальших агротехнічних дій. Також система передбачає можливість

підключення метеостанцій та ґрунтових сенсорів для комплексного моніторингу умов вирощування.



Рисунок. Моніторинг стану посівів на основі супутникових знімків

Прикладом успішної реалізації системи може бути її впровадження на господарствах в Центральній Україні, де завдяки поєднанню супутникових і дронівих даних було досягнуто зменшення витрат на добрива на 18%, а прогнозована врожайність зросла на 12%. Це стало можливим завдяки виявленню зон із зниженою вегетацією на ранніх етапах розвитку культур і оперативному внесенню коректив у технологію вирощування.

Таким чином, розробка системи моніторингу стану посівів на основі супутникових знімків та дронів є ефективним інструментом для забезпечення стійкого розвитку сільського господарства. Вона дозволяє не лише зменшити витрати та підвищити врожайність, але й покращити екологічні показники агровиробництва, оптимізуючи використання ресурсів. Подальші дослідження мають бути спрямовані на інтеграцію більш потужних алгоритмів штучного інтелекту, створення мобільних рішень для аналізу даних у польових умовах та розширення географії застосування таких систем.

Література

1. Барановський С. А. Прецизійне землеробство: інноваційні підходи та технології. Київ : Аграрна наука, 2020. 232 с.
2. Голотюк М. В., Неструк П., Фомич М. Розвиток систем точного землеробства: сучасний стан і перспективи. *Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції : зб.наук.праць. Рівне, 2023. 133 с. С. 98–99.
3. Завадський В. І., Ільїна Т. Ю. Основи дистанційного зондування Землі : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. 296 с.
4. Голотюк М. В., Котяй Ю., Крупенко Т. Потенціал використання відновлювальних джерел енергії в АПК. *Інноваційний розвиток землеробства на засадах еколого-економічної збалансованості* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції : зб.наук.праць. Рівне, 2023. 133 с. С. 96–97.
5. Козаченко А. В. Використання безпілотних літальних апаратів у сільському господарстві. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7. С. 22–29.

УДК 631.431.1:631.51:631.87

ДИНАМІКА ЩІЛЬНОСТІ СКЛАДЕННЯ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ТЕМНО-СІРОГО ҐРУНТУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ

DYNAMICS OF SOIL BULK DENSITY UNDER DIFFERENT TILLAGE METHODS WITH
THE USE OF CROP ROTATION BY-PRODUCTS

Фурманець Мирослава¹, Маркарян Володимир¹, Ященко Людмила²

¹Інститут сільського господарства Західного Полісся НААН, Україна, с. Шубків

²Національний університет водного господарства та природокористування,
Україна, м. Рівне

The research was conducted in a long-term field experiment to study the impact of different tillage methods, with the removal or incorporation of crop rotation by-products, on the bulk density of dark gray podzolic soil during the cultivation of winter rapeseed in the Western Forest-Steppe of Ukraine. It was found that the use of straw as an organic fertilizer contributed to a decrease in bulk density in all studied soil layers under all tillage methods.

Дослідження проведені у стаціонарному досліді мали на меті вивчення впливу різних способів обробітку ґрунту із відчуженням і заорюванням побічної продукції культур сівозміни на об'ємну масу темно-сірого опідзоленого ґрунту за вирощування ріпаку озимого у Західному Лісостепу України. Встановлено, що використання соломи в якості органічного добрива сприяло зменшенню об'ємної маси усіх досліджуваних шарів ґрунту за всіх способів обробітку ґрунту.

Перехід агропромислового виробництва на ринкові механізми функціонування супроводжується значними трансформаціями технологій вирощування сільськогосподарських культур, що зумовлено необхідністю підвищення їх конкурентоспроможності. Механічний обробіток ґрунту чинить сильніший вплив на його щільність, ніж природні процеси. Надмірне ущільнення є одним із недоліків інтенсивного землеробства, що погіршує фізичні характеристики ґрунту та знижує врожайність [1]. У сучасному аграрному секторі набувають поширення методи спрощеного обробітку ґрунту, які передбачають скорочення кількості та інтенсивності механічних операцій для мінімізації негативного впливу на ґрунтовий покрив при одночасному забезпеченні максимальної продуктивності культур у сівозміні [2]. Проте ефективність мінімального обробітку залежить від ґрунтово-кліматичних умов і виду культури, оскільки в деяких випадках традиційна оранка може виявитися продуктивнішою [3]. Вибір способу обробітку спрямований на створення оптимальних умов для формування високих урожаїв із належними якісними характеристиками [4].

За останні 10–15 років в Україні значна частина побічної продукції сільського господарства залишається на полі як органічне добриво. Її позитивний вплив пов'язаний із поверненням до ґрунту значної частки поживних елементів, використаних рослинами для формування врожаю, а також із покращенням вмісту гумусу [5]. Дослідження у сфері ощадного землеробства довели, що рослинні залишки, які зберігаються на поверхні ґрунту, сприяють його агрегації та підтриманню рівня органічної речовини [6].

Метою проведеного дослідження є порівняння впливу оранки та дискового обробітку на різну глибину за умови вилучення або заробки побічної продукції на показники щільності темно-сірого опідзоленого ґрунту в умовах Західного Лісостепу.

Дослідження проводилися у 2009–2020 роках у стаціонарному польовому експерименті Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН. Система сівозміни включала

такі культури: озима пшениця, кукурудза на зерно, ярий ячмінь, озимий ріпак. Облікова площа ділянки становила 50 м², дослід закладено в триразовій повторності. Відбір зразків здійснювали на полі з озимим ріпаком. Удобрення ріпаку передбачало внесення мінеральних добрив у дозах N150 P90 K150. Дослід охоплював вивчення ролі побічної продукції сівозміни за різних способів обробітку (оранка на 20–22 см, дискування на 10–12 см і 6–8 см) з її вилученням або заробкою в ґрунт з внесенням компенсаційного азоту в кількості N10/т. Досліджуваний ґрунт – темно-сірий опідзолений легкосуглинковий. Щільність складення визначали за методом різальних кілець у модифікації Н. А. Качинського (ДСТУ ISO 11272:2001) перед збиранням врожаю.

Отримані впродовж трьох ротацій сівозміни експериментальні дані свідчать про істотний вплив різних способів обробітку ґрунту під ріпак озимий та вегетативної маси попередників в якості удобрення на формування його об'ємної маси (рис. 1).

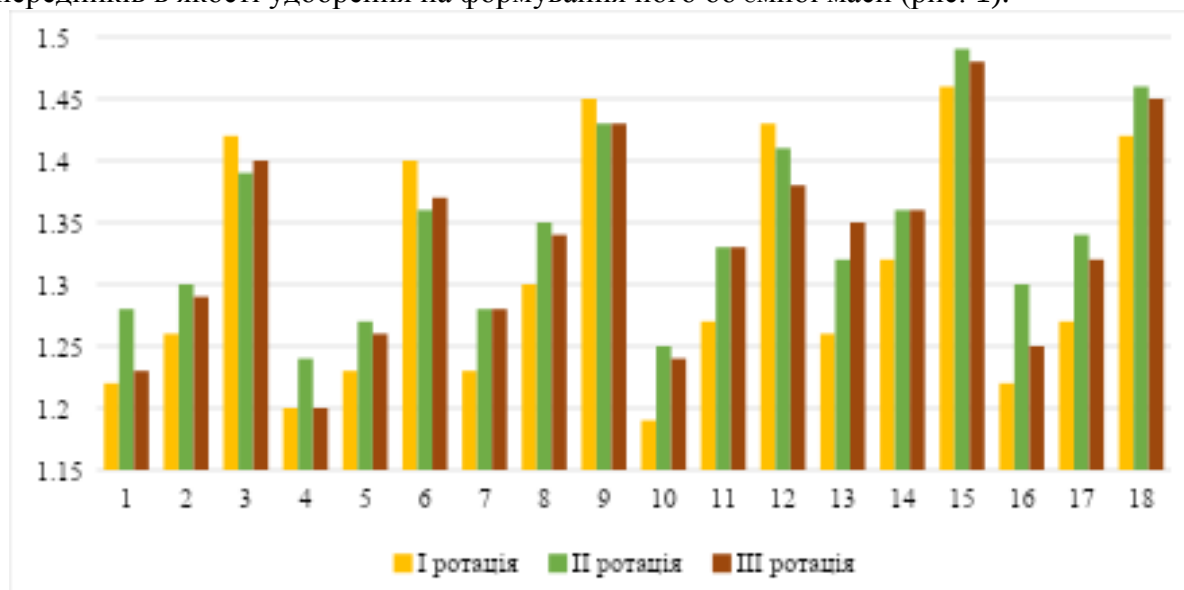


Рис. 1. Динаміка щільності складення ґрунту залежно від способу обробітку і використання побічної продукції за вирощування ріпаку озимого

На фоні відчуження з ділянки побічної рослинницької продукції за оранки найменші значення щільності складення ґрунту як в шарі 0–10 см, так і в шарі 10–20 см мали місце за оранки. Заміна оранки дискуванням супроводжувалася збільшенням об'ємної маси не тільки шару ґрунту 10–20 см, який не рихлився, але й шару 0–10 см, що свідчить про гірше розпушення оброблюваного шару ґрунту за дискування. Щільність шару ґрунту 20–30 см за всіх варіантів обробітку була значно вищою порівняно з верхніми шарами, що може свідчити про схильність ґрунту дослідної ділянки до формування плужної підшви. Протягом трьох ротацій сівозміни найнижча об'ємна маса ґрунту (1,39–1,42 г/см³) відзначена за оранки. На варіантах з дискуванням на 10–12 і 6–8 см значення показника зростало відповідно до 1,43–1,45 і 1,46–1,49 г/см³.

Отже, результати аналізу свідчать про статистично значуще зниження щільності за різних обробітків – від оранки на 20–22 см до дискування на 6–8 см. При цьому найвищі показники 1,36–1,49 г/см³ були отримані на глибині 20–30 см залежно від способу обробітку, що на 12,7–14,8% вище ніж у шарі ґрунту глибиною 0–10 см.

Використання в якості органічного добрива побічної рослинницької продукції незалежно від способів обробітку ґрунту та його глибини сприяло зменшенню об'ємної маси всіх досліджуваних шарів ґрунту: 0–10, 10–20 і 20–30 см (рис. 2).

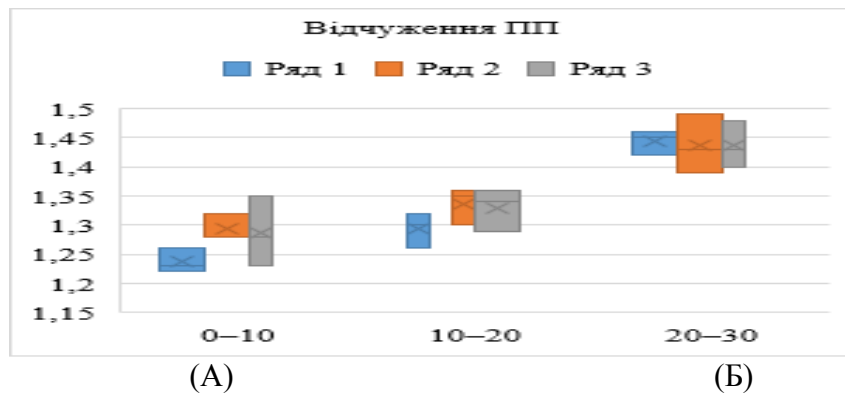


Рис. 2. Вплив побічної продукції (ПП) за її відчуження (А) або заробляння (Б) на динаміку щільності складення за різних способів обробітку темно-сірого ґрунту

Зокрема, в шарі 20–30 см щільність ґрунту у варіантах із заробкою в ґрунт побічної продукції порівняно з її відчуженням з поля зменшувалось за оранки на 0,02–0,03, дискування на 10–12 см – на 0,02–0,05 і дискування на 6–8 см – на 0,03–0,04 г/см³, що є істотним при рівні значущості $p=0,05$. При цьому найбільші зміни від заробляння соломи на добриво отримані для дискування на 6–8 см.

Таким чином, встановлено, що заміна полицевого обробітку ґрунту під ріпак озимий дискуванням на 10–12 і 6–8 см призвело до збільшення щільності в усіх досліджуваного ґрунту. У шарі 20–30 см для всіх варіантів обробітку показник був достовірно вищим порівняно з верхніми шарами, що може свідчити про схильність ґрунту до формування орної підшви. Внесення в ґрунт соломи попередника сприяло його зменшенню, але в міру мінімізації обробітку ґрунту збільшилась і його об'ємна маса.

Література

1. Демиденко О. Агрофізичний стан як критерій готовності чорнозему опідзоленого до мінімізації обробітку в агроценозі. *Вісник аграрної науки*. 2021. № 7. Т. 99. С. 15–23. DOI: <https://doi.org/10.31073/agrovisnyk202107-02>.
2. Цюк О. А., Манько Ю. П., Ямковий В. Ю. Зміна агрофізичних властивостей ґрунту залежно від систем землеробства. *Таврійський науковий вісник* : зб. наук. праць ХДАУ. 2007. Вип. 52. С. 102–108.
3. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Задубинна Є. В., Тарасенко О. А., Цюк О. А. Зміни фізико-хімічних властивостей чорнозему типового за інтенсивного землеробства в агроландшафтах Лісостепу. *Землеробство та рослинництво: теорія і практика*. 2023. Вип. 3(9). С. 5–15. doi: 10.54651/agri.2023.03.01.
4. Gawęda D., Haliniarz M. Grain yield and quality of winter wheat depending on previous crop and tillage system. *Agriculture*. 2021. Vol. 11(2). P. 133. doi: 10.3390/agriculture11020133.
5. Kolomiets M. V. The influence of tillage systems on crop productivity and soil fertility of crop rotation. *Agriculture*. 2000. Vol. 74. P. 23–30.
6. Mondal S., Mishra J. S., Poonia S. P., Kumar R., Dubey R., Kumar S., McDonald A. Can yield, soil C and aggregation be improved under long-term conservation agriculture in the eastern Indo-Gangetic plain of India? *European Journal of Soil Science*. 2021. Vol. 72(4). P. 1742–1761. doi: 10.1111/ejss.13092.

УДК 631.3:621:695:553:973(043.3)

ЕЛЕМЕНТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗАБІРНОГО ПРИСТРОЮ

ELEMENTS OF CALCULATION OF THE WORKING PROCESS OF THE TAKING DEVICE

Хомич Сергій, Цизь Ігор

Луцький національний технічний університет, Україна, м. Луцьк, вул. Львівська 75, 43018

The publication presents the problems of lakes in the Western region of Ukraine, which are losing their self-functioning and at the same time increasing the amount of natural minerals such as organic sapropel. Information is presented on the effectiveness of using organic sapropels in agriculture and elements of substantiation of the working process of a machine for extracting deposits using the funnel method of deposit development are given.

На території України зосереджено близько 10% прісноводних озер Європи [1]. Більшість з цих озер піддаються евтрофії (тобто старіють і втрачають можливість самофункціонування). Дані озера заповнені природними відкладенням, переважно органічного типу. Ці природні накопичення (поклади, корисні копалини) являються сапропелями, що є цінним сировинним матеріалом, який застосовують у будівельній галузі, медицині, сільському господарстві тощо.

З кожним роком процеси накопичення сапропелів у водоймах помітно зростають, і як наслідок озера перетворюються на чагарники та болота. Тільки на території Західного Полісся України таких водойм є більше 80, проте з року в рік їх кількість збільшується. Згідно інформації, яка міститься в списку джерел за номером [2], припинити інтенсивну евтрофікацію озер дозволяє лише людське втручання у природу за допомогою науково-обґрунтованих технологій, машин та засобів.

Найбільш поширеними і свого роду «корисними» сапропелі є в сільському господарстві, їх використовують у якості добрив для ґрунту, щоб підтримувати та відновлювати родючість малопродуктивних і виснажених земель або стабілізувати зниження гумусу [3; 4]. Однак існує складність у забезпеченні сільського господарства органічними сапропелями, що пов'язана із їх добування з підводних родовищ та обробкою.

Тому, розробка заходів із протидії природного явища евтрофіювання є досить актуальною для сьогодення, а обґрунтування доцільності використання нових технологій і машин для добування є своєчасною.

Найбільш перспективним з точки зору мінімізації енергетичних затрат на отримання сапропелевої сировини для добрив є пневматичні добувні засоби, що працюють з підводними та підземними розробками родовищ корисних копалин [5]. Тому, запропонована конструкція пневматичного забірної пристрою [6], що входить до складу засобу для добування сапропелю, призначеного для забезпечення сільського господарства якісною, органічною сировиною для формування добрив, є альтернативною розробкою. Основні аспекти роботи пристрою базуються на використанні енергії стисненого повітряного потоку.

Перевагами запропонованої конструкції забірної пристрою є: можливість добувати поклади природної вологості, чим заощаджують на власних енерговитратах та витратах на зневоднення отриманої сировини; забезпеченні інтенсифікації процесу у відповідності з механічними та гідромеханічними аналогами; унеможливленні збовтування водного простору за рахунок роботи в середовищі родовища; простотою конструкції та низькою собівартістю робіт і матеріалів на виготовлення.

Принцип роботи даного пристрою заснований на формуванні двокомпонентного середовища, шляхом самозаповнення змішувача (забірної частини) пристрою сапропелевою масою та примусової подачі стиснутого повітря. Самозаповнення робочого органу

(змішувача) відбувається за рахунок текучості сапропелю, який має здатність самостійно переміщуватись (сповзати) у нищу точку, та має великий природний кут відкосу. Весь процес добування покладів сапропелів з підводних родовищ відбувається на основі утворення висхідного двофазного потоку: повітря – сапропель. Розрихлення та забір покладів відбувається енергією потоків стиснутого повітря, що утворюють пневмозріджену суміш, а підйом, у такому ж стані, до надводної поверхні відбувається за рахунок виштовхувальної сили Архімеда та кінетичної енергії того ж самого повітря.

Внаслідок безперервного забирання сапропелю з родовища утворюється лійкоподібна заглибина, так звана воронка, яка поступово збільшується. Таким чином, пристрій доводиться постійно занурювати до технологічного дна водойми збільшуючи його висоту (довжину).

Важливим елементом, під час обґрунтування робочого процесу пневматичного забірної пристрою для добування сапропелю, за воронкового способу переміщення, та його технологічних (режимних) параметрів роботи - є визначення конструктивно-геометричних параметрів, які залежать від характеристик родовища чи глибини розроблення покладів. Оскільки шари сапропелю є нерівномірними, та розташовані на певних глибинах, то конструктивні параметри пневматичного пристрою, зокрема його висота (довжина), для кожного родовища повинна бути різною. В той час, при роботі на одному і тому родовищі, за рахунок постійного вибирання покладів з-під пристрою та утворення воронки (рис.) параметри добувального пристрою теж потрібно змінювати і корегувати.

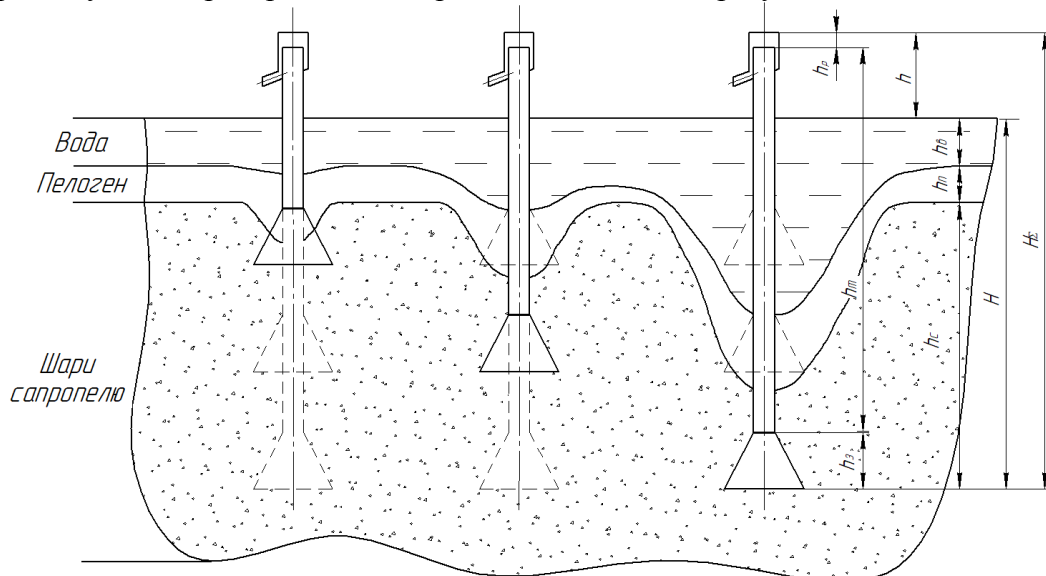


Рисунок. Схема до розрахунку робочого процесу забірної пристрою

Так, наприклад, якщо за певного значення діаметру піднімального трубопроводу робочий тиск є стабільний, то за збільшення глибини розробки – його довжину треба збільшувати і, відповідно, підвищувати тиск.

В реальних умовах роботи коригування відображаються експлуатаційними регулюваннями та взаємозамінними операціями. Так, для збільшення довжини транспортуючого трубопроводу, пропонуємо використовувати телескопічні труби з швидкофіксувальними муфтами, а збільшення робочого тиску зміною напірної потужності компресора. При цьому потрібно дотримуватись взаємопропорційності між конструктивними параметрами висоти (довжини) пристрою та тиском таким чином, щоб забезпечувати норму об'ємного газовмісту яка знаходиться в межах $0,2 \dots 0,3 < \varphi_n < 0,6 \dots 0,8$ [5]. Також важливо, для того щоб зміни геометричних параметрів пристрою та режимних параметрів робочого процесу забезпечували снарядну (поршневу, пробкову) [5; 7]. тобто

максимально продуктивну структуру руху висхідного потоку двокомпонентного середовища, яка існує саме за вищевказаних параметрів і оцінюється залежністю:

$$\varphi_n = V_n / V, \quad (1)$$

де V_n – об'єм повітря у суміші об'ємом V , м³.

Однак, слід прагнути до науково-обґрунтованих рекомендацій, які підкріплюються інженерними розрахунками.

Тому залежність, яку пов'язує сумарна геометрична висота (довжина) пневматичного забірної пристрою (рисунок) із характеристиками родовища сапропелю за потрібного об'ємного газовмісту можна отримати з рівняння:

$$h + H = h_s + h_m + h_p = h + h_s + h_n = H_s, \quad (2)$$

де h – геометрична висота розташування пристрою над поверхнею води, м;

H – глибина добування сапропелю, м;

h_s – висота змішувача м;

h_m – довжина піднімального трубопроводу радіусом r , м;

h_p – висота розташування вивідного рукава над піднімальним трубопроводом, м;

h_s – товщина водного дзеркала водойми, м;

h_c – товщина шару сапропелю з під якого ведеться добування, м;

h_n – товщина шару пелогену, м;

H_s – габаритний розмір пристрою, м.

Також, слід прагнути до рівномірної розробки шарів сапропелю, тобто розробку проводити за вертикально розміщеного засобу для добування сапропелю з застосуванням траншейного чи папільонажного способу переміщення. Відхилення від горизонту може бути на кут до 10°, при збільшенні кута виникатиме можливість виходу повітря в середовище родовища з змішувача, що призведе до втрати функціонування робочого процесу.

Отже, ефективність робочого процесу забірної пристрою, значною мірою залежить від характеристик родовища, до яких необхідно адаптувати геометричні, технологічні і режимні параметри конструкції пристрою та параметрів воронки яка утворюється в процесі роботи.

Література

1. Хільчевский В. К. Особливості гідрографії Європи: річки, озера, водосховища. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2022. № 4(66).
2. Програма дій «Порядок денний на XXI століття» («AGENDA 21»): ухвалена конференцією ООН з навколишнього середовища і розвитку в Ріоде-Жанейро (Саміт «Планета Земля» 1992 р.). К. : Інтелсфера, 2000. 360 с.
3. Деградація ґрунтів та шляхи підвищення їх родючості / Я. О. Мольчак, М. М. Мельнічук, І. В. Андрощук, В. М. Заремба. Луцьк : Настир'я, 1998. 230 с.
4. Ефективність сапропелізації ґрунтів в умовах радіоактивного забруднення: метод. посібник з організації проведення НДР в галузі сільськогосподарської радіології / Шевчук М. Й. та ін. К., 2012.
5. Хомич С. М. Обґрунтування параметрів забірної пристрою засобу для добування сапропелю : дис. ... канд. техн. наук : 05.05.11. Тернопіль, 2014. 190 с.
6. Хомич С. М., Цизь І. Є., Павлік В. А. Технологічні основи пневматичного добування озерного сапропелю. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті* : наук. журнал. Луцьк 2017. Вип. 1.(8). С. 144–149.
7. Кононенко А. П., Гусак А. Г. Експериментальні підтвердження впливу виду структури водоповітряного потоку на енергоємність ерліфта. *Вісник СДУ*. Суми, 2009. С. 34–42.

УДК 631.811

БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ

BALANCE OF NUTRIENTS FOR WINTER WHEAT CULTIVATION IN WESTERN POLISSYA

Ювчик Надія, Литвиненко Вадим

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

За розроблення науково обґрунтованих систем удобрення культур все більшої уваги потребує вивчення кругообігу і балансу поживних речовин у системі ґрунт-рослина [1]. Будь-які добрива характеризуються не лише прямою дією на ту чи іншу культуру, але й виявляють тривалу післядію на решту культур сівозміни, а також поживний режим ґрунту [2]. У цьому аспекті особливу цінність мають результати, отримані в тривалих стаціонарних дослідях. Так як дані статті балансу є однією з головних складових теорії застосування добрив і необхідні для прогнозування родючості ґрунту, розрахунку доз добрив під раціональний рівень врожаю, який забезпечить окупність туків і необхідні темпи підвищення вмісту в ґрунті рухомих сполук елементів живлення та допустимий вплив на навколишнє природне середовище.

Польові дослідження проведені протягом 2021–2023 рр. у стаціонарному досліді Інституту сільського господарства Західного Полісся НААН дерново-підзолистому зв'язно-піщаному ґрунті. Дослід проводиться на 3-х полях, чергування культур у сівозміні – пшениця озима, соя, кукурудза на зерно, соняшник. Площа посівної ділянки 99 м², облікової 50 м², повторність – триразова, розміщення – послідовне. Технологія вирощування загальноприйнята для зони Полісся. Мінеральні добрива у формі аміачної селітри, сульфату амонію, амофосу та калію хлористого вносили згідно схеми досліду. Рекомендована для зони Західного Полісся норма добрив становила $N_{120}P_{60}K_{90}$, а розраховані за нормативами витрат елементів живлення на формування 5 од. т/га зерна та лише зерна з відповідною кількістю соломи відповідно $N_{130}P_{25}K_{35}$ та $N_{150}P_{50}K_{125}$. Методика проведення досліду передбачала залишення і заорювання побічної продукції (соломи) пшениці озимої в ґрунт, тому розрахунки балансу NPK були проведені з урахуванням їх винесення лише основною продукцією (зерном).

У досліді основним джерелом надходження елементів живлення у ґрунт були мінеральні добрива, що зумовило різницю між варіантами у даній статті балансу. Крім того для азоту використані середні наукові показники азотфіксації вільноживучими мікроорганізмами, надходження з опадами у зоні Полісся, для азоту, фосфору і калію – надходження з посівним матеріалом культури [3].

Баланс як величина різниці між надходженням та відчуженням показав, що у контролі і фоні по всіх елементах його сальдо було від'ємним, при цьому із вищими показниками за вапнування (табл. 1). Це доводить, що пшениця озима збільшує споживання азоту, фосфору і калію за зміщення кислотності ґрунту у сторону нейтралізації.

Баланс елементів живлення за рекомендованої ($N_{120}P_{60}K_{90}$) та розрахованої на винос основною і побічною продукцією ($N_{150}P_{50}K_{125}$) дози удобрення на фоні 1,0 Нг $CaMg(CO_3)_2$ + мікроелементи показав від'ємне сальдо по азоту (–16,6 і –8,5 кг/га) та додатне по фосфору (22,7 і 11,2 кг/га) і калію (61,8 і 92,3 кг/га). Внесення підвищеної дози доломітового борошна (1,5 Нг $CaMg(CO_3)_2$) чи одинарної дози $CaCO_3$ не змінювало тенденції розподілу балансових показників показаних для попередніх варіант.

Таблиця

Баланс NPK за вирощування пшениці озимої за заорювання побічною продукцією залежно від удобрення та вапнування (середнє за 2021–2023 рр.), кг/га

Стаття балансу	Елементи живлення	Варіант							
		Без добрив (контроль)	CaMg (CO ₃) ₂ (1,0 Нг) – фон	Фон + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	Фон + N ₁₃₀ P ₂₅ K ₃₅ (нормат. зерно) + МД	Фон + N ₁₅₀ P ₅₀ K ₁₂₅ (нормат. зерно і солома) + МД	Фон + N ₁₃₀ (норма т. зерно) + МД	CaMg(CO ₃) ₂ (1,5 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД	CaCO ₃ (1,0 Нг) + N ₁₂₀ P ₆₀ K ₉₀ (реком.) + МД
Надходження, кг/га	N	14,0	14,0	134,0	144,0	164,0	144,0	134,0	134,0
	P ₂ O ₅	2,0	2,0	62,0	27,0	52,0	2,0	62,0	62,0
	K ₂ O	1,4	1,4	91,4	36,4	126,4	1,4	91,4	91,4
Відчуження, кг/га	N	58,6	75,2	150,6	150,5	172,5	129,7	155,6	144,8
	P ₂ O ₅	13,7	19,5	39,3	34,7	40,8	27,5	41,5	36,5
	K ₂ O	13,7	17,4	29,6	27,9	34,1	22,4	30,1	27,6
Баланс, кг/га	N	-44,6	-61,2	-16,6	-6,5	-8,5	14,3	-21,6	-10,8
	P ₂ O ₅	-11,7	-17,5	22,7	-7,7	11,2	-25,5	20,5	25,5
	K ₂ O	-12,3	-16,0	61,8	8,5	92,3	-21,0	61,3	63,8
Інтенсивність балансу, %	N	23,9	18,6	89,0	95,7	95,1	111,0	86,1	92,6
	P ₂ O ₅	14,6	10,3	157,7	77,7	127,6	7,3	149,6	169,9
	K ₂ O	10,2	8,0	309,1	130,6	370,1	6,2	303,6	330,7

Повна відсутність фосфорних і калійних добрив у варіанті застосування одних лише азотних добрив у дозі N₁₃₀ на фоні вапнування та позакореневого удобрення спричинила від'ємні баланси цих елементів, що перевищували показники у контролі і фоні. Рівень відчуження азоту за рахунок виносу нижчими урожаєм порівняно з виносом за повного мінерального живлення не перевищував його сумарного надходження з добривами та іншими джерелами, що дозволило отримати баланс на рівні 14,3 кг/га.

Найбільш оптимальним варіантом за балансовими показниками для вирощування пшениці озимої при залишенні побічної продукції в полі є застосування розрахункової дози добрив, що компенсує винос NPK основною продукцією (N₁₃₀P₂₅K₃₅), у поєднанні з позакореневим внесенням мікроелементів на фоні 1,0 Нг CaMg(CO₃)₂. Така система удобрення забезпечує високий рівень інтенсивності балансу калію (130,6%), запобігає дефіциту азоту (95,7%) та уникає перенасичення ґрунту рухомими сполуками фосфору (77,7%), що є важливим для підтримання оптимальної родючості ґрунту.

Література

1. Кудря С. І., Кудря Н. А., Звонар А. М. Вплив попередника пшениці озимої на вміст поживних речовин у ґрунті. *Вісник Центру наукового забезпечення АПВ Харківської області*. Харків, 2017. Вип. 23. С. 37–47.
2. Господаренко Г. М., Черно О. Д. Баланс основних елементів живлення за тривалого застосування добрив. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 47–50.
3. Камінський В. Ф., Сайко В. Ф. Землеробство ХХІ століття – проблеми та шляхи вирішення. *Землеробство*. 2015. Вип. 2. С. 3–11.

НАУКОВА СЕКЦІЯ 2
ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 634.0:66.017

РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ І НАСІННЯ РИЦИНИ

RESULTS OF LABORATORY STUDIES ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF CASTOR FRUITS AND SEEDS

Алієв Ельчин, Головченко Валентин

Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро, Україна

The study of the rheological properties of castor fruits and seeds revealed a nonlinear relationship between their mechanical behavior under compression, time, and absolute deformation. The deformation process of castor fruits consists of several stages: an initial elastic deformation, shell cracking, a phase of plastic deformation, and a sharp force drop at rupture, followed by gradual compression of the inner part.

Дослідження реологічних властивостей плодів і насіння рицини є актуальним через зростаючий попит на рицинову олію, яка широко використовується в фармацевтичній, косметичній, хімічній та технічній галузях. Реологічні характеристики плодів і насіння рицини впливають на ефективність технологічних процесів їхнього перероблення, зокрема транспортування, подрібнення, пресування та екстракції олії [1].

Недостатнє вивчення механічних і реологічних властивостей сировини може призводити до енерговитратності та неефективності технологічних процесів [2]. Тому проведення лабораторних досліджень у цьому напрямку дозволить оптимізувати режими обробки насіння рицини, покращити якість кінцевого продукту та зменшити витрати виробництва.

Отримані результати можуть бути використані для вдосконалення обладнання, що застосовується у процесі переробки рицини, а також для прогнозування її поведінки під час механічного впливу, що є важливим аспектом у розробці нових технологій виробництва рицинової олії [3].

В якості об'єкту лабораторних досліджень обрані плоди і насіння рицини сорту Хортичанка [4]. Вологість плодів і насіння рицини складала в середньому $6,82 \pm 0,74\%$.

Реологічні властивості плодів і насіння рицини визначались з використанням пенетрометра, розробленого Алієвим Е. Б., Миколенко С. Ю., Дудіним В. Ю. [5]. Загальний вигляд процесу вимірювання наведено на рис. 1.

Функціонування пристрою відбувається за таким принципом: у зону під індентором циліндричної форми (діаметр – 20 мм), що закріплений на тензодатчику з можливістю вертикального переміщення, поміщається плід або насіння рицини на робочий стіл. Попередньо тензодатчик разом із закріпленим на ньому індентором проходить калібрування, при якому в стані спокою він відповідає нульового зусилля. Далі індентор починає рівномірний вертикальний рух вниз. Момент, коли індентор стикається з компонентом, призводячи до збільшення зусилля на тензодатчику, фіксується як початок вимірювального процесу. У ході вимірювання визначається залежність сили стиснення F (Н) і абсолютної деформації Δx (мм) від часу t (с). Похибка вимірювань для F становить 0,1 Н, а для Δx – 0,01 мм.

Дослідження реологічних властивостей плодів і насіння рицини передбачали почерговий їх стиск з використанням пенетрометра. Кількість зразків (повторність) для кожної групи складала 50.

Приклади отриманих залежностей сили стиску F (Н) плодів і насіння рицини від часу t (с) або абсолютної деформації Δx (мм) з урахуванням постійно швидкості руху індентор (4 мм/с) наведені на рис. 2–3.

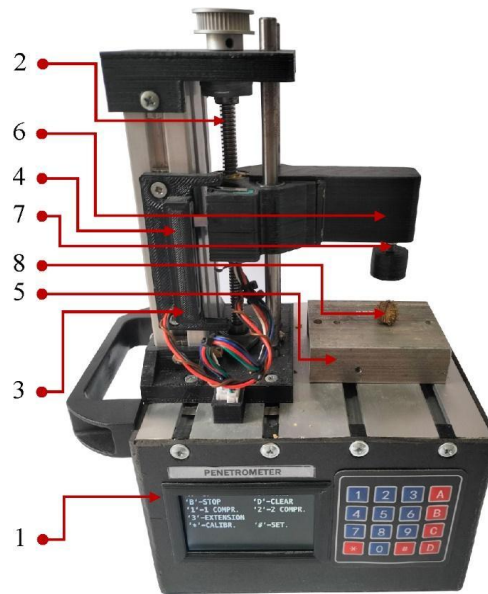


Рис. 1. Дослідження реологічних властивостей плодів і насіння рицини з використанням пенетрометра: 1 – блок управління пенетрометра; 2 – модуль вертикального переміщення; 3 – модуль вимірювання відстані; 4 – модуль кінцевих вимикачів; 5 – робочий стіл; 6 – тензодатчик; 7 – індентор циліндричної форми; 8 – зразок плоду або насіння рицини

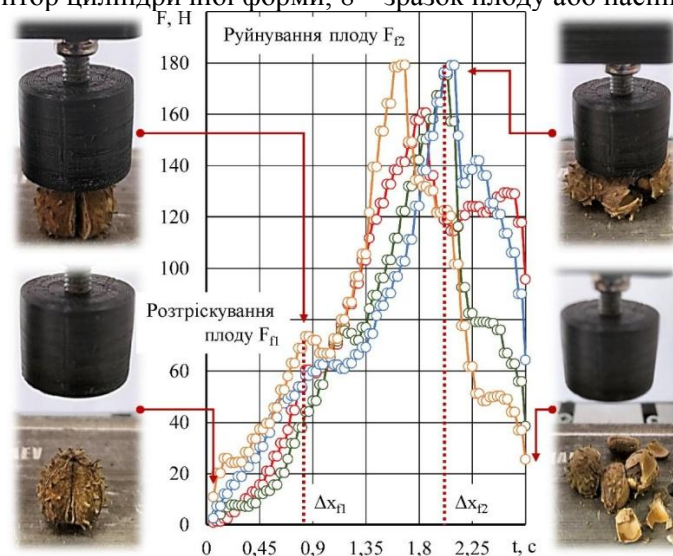


Рис. 2. Приклади залежностей сили F стиску плодів рицини від часу t

Аналіз характеру залежності сили F стиску плодів рицини від часу t дозволяє оцінити їхні механічні властивості, зокрема пружність, пластичність і межу руйнування. На початковій стадії випробування сила F зростає лінійно, оскільки відбувається пружна деформація оболонки плоду. У цей момент залежність сили від часу наближено описується лінійною функцією. Далі, зі збільшенням часу стискання, в момент коли сили набуває значення $F_{t1}(\Delta x_{t1})$ оболонка розтріскується. Після чого плід починає втрачати пружні властивості, деформація стає пластичною, і зростання сили сповільнюється. У цій зоні залежність може описуватися степеневою або експоненціальною функцією. При досягненні критичної сили $F_{t2}(\Delta x_{t2})$ оболонка руйнується, що супроводжується різким спадом сили. У цей момент на графіку $F(t)$ спостерігається пік, після якого навантаження різко зменшується. Далі відбувається стискання внутрішньої частини плоду, а саме насіння (на рис. 3 не

показано), і залежність сили від часу знову має лінійний характер, проте з меншим кутовим коефіцієнтом, оскільки насіння менш пружне за оболонку. Отже, характер залежності сили стиску плодів рицини від часу є нелінійним і включає кілька етапів: початкове лінійне зростання, момент розтріскування оболонки, уповільнення в зоні пластичної деформації, різкий спад при руйнуванні оболонки та подальше плавне зростання під час стискання насіння. Такий аналіз дозволяє оцінити механічні характеристики плодів, що є важливим для їх попередньої переробки, сортування та транспортування.

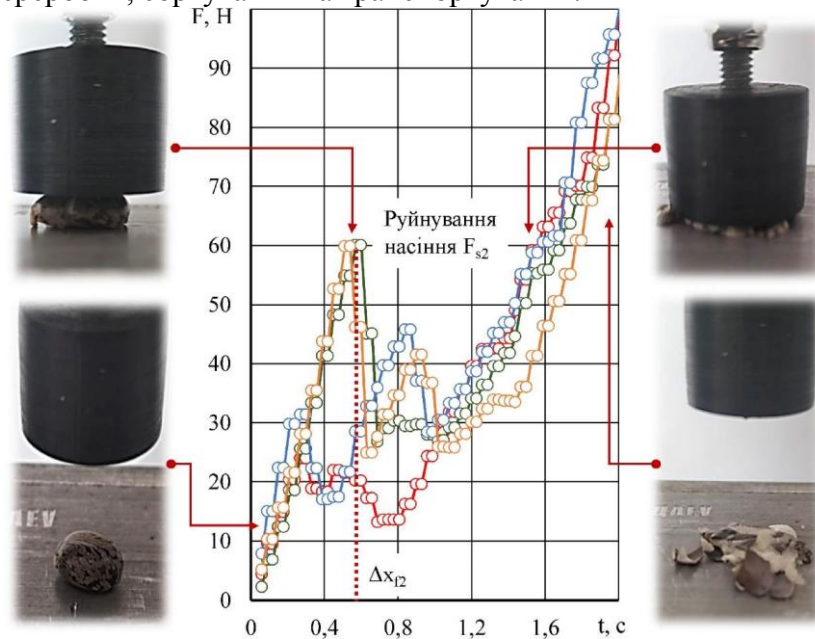


Рис. 3. Приклади залежностей сили F стиску насіння рицини від часу t

Аналіз характеру залежності сили F стиску насіння рицини від часу t дозволяє визначити його механічні властивості, зокрема пружність, пластичність і момент руйнування. На початковій стадії випробування сила F зростає лінійно, що відповідає пружній деформації насіння. У цей період залежність сили від часу наближено описується лінійною функцією, оскільки насіння чинить опір стисканню, поступово накопичуючи напруження. В момент накопичення критичного напруження (сила $F_{s2}(\Delta x_{s2})$) відбувається руйнування насіння і спостерігається різке зниження сили F . Після чого, зі збільшенням навантаження, насіння починає втрачати пружні властивості, і залежність сили від часу переходить у нелінійний режим, оскільки відбувається пластична деформація. У цей момент матеріал оболонки насіння поступово змінює свою структуру, що може бути описано степеневою або експоненціальною функцією. Таким чином, характер залежності сили стиску насіння рицини від часу включає кілька послідовних етапів: початкове лінійне зростання сили під час пружної деформації, різкий спад після руйнування оболонки та подальше плавне збільшення сили. Такий аналіз є важливим для розуміння механічних властивостей насіння рицини, що має значення для процесів його переробки, сортування та транспортування.

Зведені дані щодо статистичної обробки варіаційних рядів наведені в таблиці.

Таблиця

Результати статистичної обробки варіаційних рядів розподілів сил і абсолютних деформацій при яких спостерігається розтріскування і руйнування плодів та насіння рицини

Показник	F_{f1} , Н	Δx_{f1} , мм	F_{f2} , Н	Δx_{f2} , мм	F_{s2} , Н	Δx_s , мм
Значення	63,67±3,52	3,32±0,75	172,96±9,55	7,19±0,79	48,91±8,34	2,4± 0,62
χ^2	7,6	14,5	13,2	8,0	9,7	7,8
R	0,929	0,870	0,860	0,855	0,787	0,796

Аналіз результатів статистичної обробки варіаційних рядів розподілів сил і абсолютних деформацій, при яких спостерігається розтріскування і руйнування плодів та насіння рицини, показує високу узгодженість емпіричних даних із теоретичним законом нормального розподілу. Середні значення сил та деформацій, при яких відбувається розтріскування та руйнування, мають низькі стандартні відхилення, що свідчить про відносно малу варіативність у структурних властивостях плодів і насіння рицини. Найменша сила руйнування спостерігається у насіння ($F_{s2} = 48,91 \pm 8,34$ Н), що підтверджує його менш міцну структуру порівняно з плодами ($F_{f2} = 172,96 \pm 9,55$ Н). Абсолютна деформація при руйнуванні також є найменшою у насіння ($\Delta x_s = 2,4 \pm 0,62$ мм), що вказує на його меншу здатність до пластичних деформацій порівняно з плодами ($\Delta x_{f2} = 7,19 \pm 0,79$ мм). Розраховані значення критерію узгодженості χ^2 для всіх параметрів (від 7,6 до 14,5) є нижчими за табличне значення $\chi_{табл}^2 = 16,9$, що підтверджує відповідність експериментальних розподілів теоретичним із заданим рівнем значущості (0,05). Це свідчить про відсутність статистично значущих відхилень та про надійність отриманих даних. Коефіцієнти кореляції R для всіх параметрів знаходяться в межах від 0,787 до 0,929, що вказує на сильний зв'язок між силою та відповідною абсолютною деформацією. Найвищу кореляцію спостерігаємо для сили розтріскування плодів ($R = 0,929$), що вказує на високу передбачуваність поведінки оболонки при навантаженні. Дещо нижчі значення кореляції для сили руйнування насіння ($R = 0,787$) можуть бути пов'язані з більшою неоднорідністю внутрішньої структури насіння. Таким чином, отримані результати вказують на стабільність механічних характеристик плодів і насіння рицини та дозволяють точно прогнозувати їхню поведінку при стисканні.

Висока кореляція між силою та деформацією, а також підтвердження узгодженості розподілів за критерієм χ^2 , свідчать про можливість використання цих характеристик для подальшої оптимізації технологічних процесів переробки та сортування.

Дослідження реологічних властивостей плодів і насіння рицини показало, що їхня механічна поведінка при стисканні має виражену нелінійну залежність від часу та абсолютної деформації. Аналіз отриманих залежностей сили стиску F від часу t (абсолютної деформації Δx) свідчить, що процес деформації плодів рицини включає кілька послідовних етапів: початкове лінійне зростання сили в межах пружної деформації, момент розтріскування оболонки ($F_{f1} = 63,67 \pm 3,52$ Н, $\Delta x_{f1} = 3,32 \pm 0,75$ мм), уповільнення росту сили у фазі пластичної деформації, різкий спад при руйнуванні оболонки ($F_{f2} = 172,96 \pm 9,55$ Н, $\Delta x_{f2} = 7,19 \pm 0,79$ мм) та подальше плавне зростання сили під час стискання внутрішньої частини плоду. Подібний характер деформації спостерігається і для насіння рицини, однак момент руйнування ($F_{s2} = 48,91 \pm 8,34$ Н, $\Delta x_s = 2,4 \pm 0,62$ мм) супроводжується різким зниженням сили без вираженої стадії пластичної деформації. Статистична обробка експериментальних даних підтвердила відповідність розподілів сил і деформацій нормальному закону розподілу.

Література

1. Janiszewska D., Olchowski R., Nowicka A., Zborowska M., Marszałkiewicz K., Shams M., Giannakoudakis D. A., Anastopoulos I., Barczak M. Activated biochars derived from wood biomass liquefaction residues for effective removal of hazardous hexavalent chromium from aquatic environments. *GCB Bioenergy*. 2021. Vol. 13. P. 1247–1259. DOI: <https://doi.org/10.1111/gcbb.12839>

2. Алієв Е. Б., Пацула О. М., Гриценко В. Т. Технологія комплексної безвідхідної переробки макухи з насіння олійних культур з одержанням високоякісних повноцінних протеїнових добавок у вигляді пелет та твердого біопалива : науково-методичні рекомендації / Інститут олійних культур Національної академії аграрних наук України. Електронний аналог друкованого видання (електронна книга). Запоріжжя : СТАТУС, 2017. 96 с.
3. Yang L., Chen H., Xiao J., Fan Y., Song S., Zhang Y., Liu X. Research on Structural–Mechanical Properties during the Castor Episperm Breaking Process. *Processes*. 2021. Vol. 9. 1777 p. <https://doi.org/10.3390/pr9101777>
4. Ведмедєва К. В., Кавязіна М. Ю., Махова Т. В. Оцінка зразків ріцини за господарсько – цінними ознаками. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2018. Vol. 26. Р. 39–48. URL: https://bulletin.imk.zp.ua/pdf/2018/26/Vedmedeva2_26.pdf (дата звернення: 01.04.2025).
5. Пристрій для автоматичного визначення структурно-механічних властивостей харчових мас: пат. України 151728: МПК (2006) G01N 3/44 (2006.01), G01N 19/00, G01B 3/00; заявл. 08.09.2022; опубл. 07.09.2022, Бюл. № 36. Заявник: Дніпровський державний аграрно-економічний університет, № u202106596 / Алієв Е. Б., Миколенко С. Ю., Дудін В. Ю.

УДК 631.31

МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ГРУНТООБРОБНИХ МАШИН

THE MECHANISM OF ABRASIVE WEAR OF THE WORKING BODIES OF TILLAGE MACHINES

Борак Костянтин, Рябчук Олександр, Рябчук Павло

Житомирський агротехнічний фаховий коледж, вул. Покровська 96, м. Житомир, 10031

Абразивне зношування є одним з найпоширеніших видів спрацювання деталей сільськогосподарських машин, особливо робочих органів ґрунтообробних знарядь. Під час обробітку ґрунту тверді частинки ґрунту (пісок, пил та глинисті включення, каміння) діють як абразив, що призводить до інтенсивного стирання поверхонь робочих органів. За оцінками, до 75–80% випадків простоїв сільськогосподарської техніки зумовлено саме абразивним зношуванням деталей [1]. Внаслідок цього погіршується продуктивність і зростають витрати – зношування робочих органів збільшує опір та енергоспоживання агрегату. Зокрема, тертя ґрунту об робочі поверхні може складати 20–30% опору ґрунтообробних машин [2], а зі зростанням спрацювання інструментів опір руху ще більше підвищується. Зношені плуги і культиватори гірше ріжуть ґрунт, потребують більшого тягового зусилля, що веде до перевитрати палива та зниження якості обробітку. Через інтенсивний знос ресурс деталей є обмеженим: наприклад, роторні ножі фрези часто потребують заміни вже через ~80 годин роботи [2]. Таким чином, підвищення зносостійкості ґрунтообробних органів є критично важливим для сільського господарства з точки зору економії та надійності техніки. Це зумовлює значну увагу науковців до вивчення механізмів абразивного зношування і пошуку шляхів їхнього уповільнення [1].

Останнє десятиліття відзначається активними дослідженнями абразивного зношування ґрунтообробних знарядь у всьому світі – від України та Європи до Азії. В англомовній літературі узагальнений аналіз представлений у огляді Malvajerdi [3]. У цій роботі відзначено, що абразивний знос є основною проблемою для ґрунтообробних інструментів і численні дослідники досліджували вплив властивостей ґрунту, геометрії знарядь, швидкості та глибини оранки на інтенсивність зношування. Зокрема, встановлено закономірність: збільшення розміру піщаних часток ґрунту веде до підвищення інтенсивності зношування робочих органів [3]. Ряд робіт присвячено зміцненню та захисту поверхні – нанесення твердих покриттів або наплавлень може суттєво зменшувати зношування і навіть знижувати тяговий опір плуга завдяки кращому ковзанню [3]. Паралельно, багато науковців моделювали процес зношування, будуючи залежності спрацювання від параметрів інструмента і ґрунту та використовуючи методи чисельного моделювання взаємодії «ґрунт–знаряддя».

Українські вчені Борак К.В., Аулін В.В., Дворук В.І. та інші теж зробили вагомий внесок у дослідження абразивного зношування робочих органів ґрунтообробних машин. Так, К.В. Борак досліджував вплив форми абразивних частинок ґрунту на інтенсивність зношування робочих органів [4; 5]. Встановлено, що геометрія абразиву (його коефіцієнт форми) суттєво впливає на швидкість зношування: більш гострі піщинки спричиняють сильніше дряпання і швидше стирання металу, ніж округлі частинки. Інший приклад – роботи В. Ауліна та К. Борака, опубліковані французькою мовою, де запропоновано метод підвищення зносостійкості дискових ґрунтообробних органів. В польових випробуваннях вони порівнювали п'ять типів дисків та показали, що диски із сталі 65Г, зміцнені електроіскровою обробкою з одночасним заточуванням під кутом 30°, забезпечують на 76%

більшу стійкість до зношування і напрацювання 178 га до граничного стану – проти ~100 га у стандартних дисків [6]. Причому протягом усього ресурсу спостерігався ефект самозагострювання крайки диска, що підтверджує доцільність такої технології виготовлення [6].

Вагомий доробок у дослідження механіки зношування належить і європейським науковцям. Зокрема, міжнародна група під керівництвом А. Калачки (Угорщина) за участі бельгійських та німецьких колег дослідила зносостійкість бористої сталі 27MnB5, з якої виготовляють робочі лапи культиваторів. В їх експериментах імітували роботу клиноподібного долота у ґрунті та фіксували зміну маси, твердості і мікроструктури після зношування. Було виявлено, що знос носить зональний характер вздовж профілю лапи: на передній ріжучій крайці домінує мікрорізання, а на ділянках позаду – мікрооранка (утворення борозен). Ці спостереження узгоджені з результатами 3D-сканування та профілометрії, а також підтверджені чисельним моделюванням потоку ґрунту методом дискретних елементів (DEM) [7]. Подібні комплексні дослідження (експеримент+моделювання) ведуться і в Німеччині – зокрема, розробляються моделі прогнозування зносу плуга за даними про властивості ґрунту та матеріалу інструмента [2].

Китайські дослідники також приділяють значну увагу проблемі зношування сільгосптехніки. В роботі [8] відзначено, що абразивне спрацювання переважає серед усіх видів зношування у ґрунтообробних машинах. Більше того, вихід з ладу через знос понад половини ключових вузлів агротехніки обумовлений саме абразивним зношуванням [2]. Китайські вчені досліджували зносостійкість різних матеріалів робочих органів – від високоміцного чавуну до алюмінієвих сплавів. Наприклад, Lu та співавт., вивчали абразивне зношування високоміцного ковкого чавуну з різною мікроструктурою (феритно-бейнітна, мартенситна тощо) за допомогою лабораторних тестів «штифт-диск» та тритільного абразивного зносу [9]. Вони встановили близьку до лінійної залежність між твердістю і зносостійкістю таких чавунів. Зразки з мартенситною основою та евтектичними карбідами показали найвищу стійкість: на їх поверхні після випробувань спостерігалось лише коротке мікрорізання і дрібні поверхневі вищербини, тоді як більш м'яка бейнітна основа дала глибокі вибоїни від виламування частинок. Таким чином, сучасні наукові публікації різними мовами сходяться на тому, що підвищення твердості та оптимізація мікроструктури матеріалу значно знижують інтенсивність абразивного зношування. Водночас надмірно крихкі структури можуть руйнуватися уламково, тому баланс між твердістю і ударною в'язкістю є предметом уваги дослідників [2].

Отже, аналіз наукових джерел останніх років показує, що проблема абразивного зносу вирішується комплексно: шляхом глибшого розуміння механізмів зношування, врахування впливу факторів ґрунтового середовища та вдосконалення матеріалів і захисних покриттів робочих органів.

З погляду фізико-механічних процесів, абразивне зношування виникає при контакті твердих частинок з поверхнею матеріалу за наявності відносного руху і навантаження. Розрізняють двотільне (two-body abrasive wear) та трьохтільне (three-body abrasive wear) абразивне зношування. У випадку двотільного зношування абразив є частиною однієї з контактуючих поверхонь (наприклад, виступи шорсткості твердої поверхні дряпають м'якший метал). Трьохтільне зношування характерне для ґрунтообробних робочих органів – тверді частинки ґрунту виступають як третє тіло між робочим органом і масивом ґрунту, вільно перекочуються або проковзають, діючи як абразивний порошок. Саме трьохтільний абразивний знос переважає при роботі плугів, культиваторів та інших ґрунтообробних знарядь [10; 11; 12].

На мікрорівні абразивне зношування реалізується через кілька основних механізмів. Перший – мікрорізання (різальний знос), коли тверда частинка ковзає по більш м'якій поверхні подібно до різця, зрізуючи дрібні частки матеріалу у вигляді стружки [1]. При мікрорізанні на поверхні залишаються подовжені подряпини (скребки), а знятий матеріал

утворює дрібні уламки – продукти зношування. Другий механізм – мікрооранка (абразивне борозноутворення): частинка не зрізає матеріал повністю, а втискається і пластично переміщує його убік, утворюючи борозну з підняттям гребнів з країв [1]. Частина матеріалу при цьому залишається привареною до країв борозни у вигляді валиків. Поступово ці гребні можуть наклепуватися (ущільнюватися) і частково відламуватися – наприклад, внаслідок виникнення втомних тріщин при багаторазовому навантаженні [1]. Третій можливий механізм – крихке викришування (мікротріщини і відколювання), яке проявляється у відносно крихких матеріалах або при високих локальних напруженнях. У цьому випадку тверда зернина спричиняє зародження тріщин у приповерхневому шарі металу і шматочки матеріалу можуть вириватися цілими пластинками або лусочками [4]. На поверхні після такого механізму помітні вибоїни (ями) різних розмірів. Насправді всі ці механізми часто діють одночасно, хоча залежно від умов якийсь один домінує. Наприклад, для в'язких сталей переважають пластичні механізми (різання і пластичне борознення), тоді як для дуже твердих або крихких матеріалів більшу роль відіграє утворення тріщин і уламкове зношування [13].

Фактором, що визначає режим зношування, є співвідношення твердості абразиву і матеріалу деталі. Чим більша твердість частинок порівняно з металом, тим більше схильний метал до різального зносу з утворенням стружки [14–19]. За класичною теорією, якщо твердість інструмента H_s менш ніж в $\sim 1,3$ рази перевищує твердість абразиву H_a , то має місце інтенсивний знос за типом мікрорізання (так званий «severe abrasion»), тоді як при значно твердішому матеріалі інструмента зношування уповільнюється і частіше відбувається мікрооранка без відриву великих часток (режим «mild abrasion») [13]. Наприклад, у наведеному вище досліді з ковким чавуном було показано, що підвищення твердості матриці від бейніту до мартенситу підвищило її зносостійкість майже лінійно [2].

Тверді карбідні включення в сплаві додатково захищають від зношування, хоча можуть і самі вириватися, якщо слабо зв'язані з основою. Іншим підтвердженням ролі міцності є порівняння сталей різної мікроструктури: мартенситна сталь з твердістю ~ 45 HRC зносилася значно повільніше, ніж перлітна сталь ~ 25 HRC в однакових умовах, а шорсткість її поверхні після тесту була в 1,3–1,9 рази нижчою [20]. Отже, твердість і мікроструктура матеріалу визначають переважний механізм його спрацювання – через пластичну деформацію чи через крихке руйнування. Схема механізму абразивного зношування (утворення борозни при «мікрооранці» та формування частинок зносу внаслідок відламу гребня і розвитку тріщин). Частинки абразиву, рухаючись по поверхні (стрілка – напрямок ковзання), утворюють борозну із підняттям гребнів матеріалу. В наступних циклах гребінь сплющується і частково ламається, утворюючи дрібні пластинчасті частки зносу.

За типових умов роботи ґрунтообробних органів має місце багаточисельне повторне дряпання поверхні потоком абразивних зерен. Це призводить до поступового наклепу (зміцнення) поверхневого шару у разі пластичного деформування або до накопичення мікротріщин у разі крихкого режиму. На сталі після певного періоду експлуатації часто формується тонкий зміцнений шар із втисненими залишками абразиву чи оксиду – так званий трибошар, який частково захищає основу [7]. Інтенсивність зношування загалом пропорційна навантаженню і пройденій дистанції тертя. В лабораторних випробуваннях на абразивне стирання (наприклад, стандартизованих тестах типу «ролик-гума-абразив» або «штифт-диск з абразивним порошком») зазвичай спостерігається лінійна залежність втрати маси від шляху тертя [21]. У польових умовах через складність процесу ця лінійність може порушуватися, але загалом більший пробіг знаряддя і більша швидкість руху призводять до більшого зносу. Деякі дослідження відзначають цікавий ефект стабілізації зношування: наприклад, на початку роботи нового плуга швидко зростає шорсткість поверхні (формуються борозни), але надалі знос наче уповільнюється – можливо, через утворення захисного окисного шару або пристосування мікрорельєфу [13]. Таким чином, механізм

абразивного зношування є багатостадійним: початкова притирка, стабілізований знос і за високих навантажень, перехід до прискореного руйнування.

Робочі органи різних ґрунтообробних знарядь (плуги, культиватори, борони, чизелі, фрези тощо) відрізняються конструкцією та режимами роботи, однак усі вони піддаються інтенсивному абразивному зношуванню при контакті з ґрунтом. Характер спрацювання може дещо різнитися в залежності від типу знаряддя:

Плуги (лемеші і полиці) – працюють у режимі постійного ковзання по ґрунту. Леміш плуга розрізає ґрунт, беручи на себе основний абразивний удар. Тому найбільш зношується леміш – його носок (вістря) сточується і втрачає форму, довжина леміша поступово зменшується. Також з часом стирається полиця плуга – поверхня, яка перевертає пласт землі: вона шліфується ґрунтом до блиску. Польові дослідження показують, що швидкість зношування плуга сильно залежить від властивостей ґрунту. Наприклад, в сухому піщаному ґрунті знос плужних ножів майже втричі інтенсивніший, ніж у вологому ґрунті [22]. Це пояснюється тим, що волога діє як мастило і пом'якшує контакт у глинистих ґрунтах [20], тоді як у сухому піску вода не відіграє змащувальної ролі, а лише збільшує щільність абразиву. Водночас надлишкова вологість може викликати налипання ґрунту і теж змінювати характер зношування. Зношування леміша найчастіше проявляється у вигляді сточування носка та леза. При низькій вологості помічено прискорений знос нижньої (підшви) грані леміша і його потиличної частини [20] – фактично леміш «підрізається» знизу піском, скорочуючи довжину. Натомість у вологих важких ґрунтах більш інтенсивно тоншає сам леміш (втрачає товщину), що приводить до прогинання і навіть поломки. Таким чином, форму і розміри плужних органів доводиться відновлювати або міняти леміші після певної площі обробітку, адже геометрія різального органу помітно змінюється через спрацювання [23].

Культиватори. Робочі органи культиваторів можуть бути різних типів – лапи, долота, стрілчасті плоскі лапи тощо. Всі вони призначені для подрібнення і перемішування ґрунту і теж зазнають абразивного сточування, переважно по передніх ріжучих кромках. Стрілчасті лапи культиватора стираються по своїх крилах; їх ріжуча крайка тупиться і вкорочується. Чим твердіша сталь лапи, тим довше вона тримає заточку – тому часто лапи виготовляють із бористої сталі і термічно обробляють. Наприклад, в одному з досліджень лапи з бористої сталі 27MnB5 показали доволі високу зносостійкість, причому спрацювання в основному відбувалося за рахунок утворення системи паралельних дрібних подряпин (мікрорізання) на передній поверхні [7]. Для підвищення ресурсу культиваторних лап у практиці широко застосовують наплавлення твердими сплавами (наприклад, наплавка твердим сплавом по кромці лапи) або установку змінних твердосплавних наконечників. Це дозволяє зменшити швидкість зношування. Дослідження показують, що наплавлені/зміцнені лапи можуть служити у кілька разів довше. Зокрема, наплавлення твердим сплавом на носок чизельної лапи зменшило знос на ~40% порівняно зі звичайною в умовах важкого ґрунту [3]. При зносі культиваторних органів також зростає тяговий опір – Bobobee та ін. відзначали, що затуплення лапи плуга підвищує необхідне зусилля тяги і негативно впливає на продуктивність тяглових тварин [3]. Тому в економічному сенсі вигідніше мати зносостійкі робочі органи, які довше зберігають гостру форму.

Дискові борони і плуги. Робочим органом тут є круглий диск (різальний або ґрунторозпушувальний). Диски виготовляють зі сталі підвищеної твердості (~45–50 HRC) і встановлюють під кутом до напрямку руху. При обертанні диск одночасно ріже і котиться по ґрунту. Абразивне зношування дисків проявляється у поступовому зменшенні діаметра і маси диска. Край диска затуплюється, хоча часто спостерігається ефект самозагострення: диск зношується таким чином, що його край постійно залишається відносно гострим під дією різниці швидкостей на зовнішній і внутрішній сторонах. Як зазначалося, спеціальне зміцнення і підточування дисків може значно збільшити їх ресурс [6]. У випробуваннях, де стандартний диск борони служив близько 100 га, модернізований диск (з електроіскровим

зміцненням) працював 178 га без додаткового загострення [6]. Це пов'язано з тим, що зміцнений диск зберігав форму і не потребував загострення – знос відбувався рівномірно, зберігаючи профіль ріжучої крайки (самозагострювався). Звичайні диски нерідко доводиться періодично загострювати, щоб відновити кут різання. В сухих піщаних ґрунтах диски зношуються швидше (дрібний пісок діє як абразивний порошок), тоді як у вологому ґрунті і на чорноземах ресурс дисків вищий.

Чизелі, глибокорозпушувачі. Їх робочі органи – долота або стійки, що працюють на значній глибині. Вони піддаються великим навантаженням і зносу не менше, ніж леміші плуга. Знос чизельного долота зазвичай проявляється у зношуванні його носка, який приймає на себе основний удар об тверді включення (камінці). Часто верхній шар металу стійки зміцнюють наплавкою або термічним способом, щоб протистояти як абразивному зносу, так і ударним навантаженням. При значному спрацюванні долота або стійки (зменшенні його розмірів) погіршується глибина обробітку, тому такі деталі теж підлягають періодичній заміні або відновленню.

Ротаційні фрези (мотоблоки, ротаційні культиватори). Мають набори ножів, що швидко обертаються і рубають ґрунт. Режим роботи – ударно-абразивний: ножі з великою швидкістю врізаються в ґрунт, піддаючись як тертю об частинки, так і удару об грудки та каміння. Тому їх зношування поєднує інтенсивне зношування крайок і можливе викривлення або вигинання лез. Ножі фрез виготовляють зі середньовуглецевих сталей і гартують, але навіть так їхній строк служби невеликий (десятки годин роботи [2]). Наприклад, на вітчизняних ротаційних машинах ножі потребують заміни кілька разів за сезон при обробці твердих ґрунтів. Абразивне зношування ножа проявляється у завалюванні кромки – гостра кромка округлюється, товщає; сам ніж може втрачати довжину і товщину. Для підвищення ресурсу експериментують з наплавленням зносостійкого шару або виготовленням ножів з бористих сталей. Відомо також, що зменшення швидкості обертання (тобто робота з меншою окружною швидкістю ножа) дещо знижує знос, але погіршує продуктивність, тому оптимізація режимів – теж актуальне завдання.

Таким чином, усі типи ґрунтообробних органів мають свою специфіку зношування, але спільним є поступова втрата маси і зміна форми внаслідок тривалого контакту з абразивним ґрунтом. Це призводить до погіршення робочих характеристик – наприклад, затуплення леміша вимагає більшої тяги і погіршує кришення ґрунту [3]. Тому виробники намагаються підвищити зносостійкість матеріалів (легуванням, гартуванням), наносити захисні покриття (наприклад, твердосплавні наплавки) та конструктивно забезпечити самозагострювання органів (як у випадку двохшарових дисків або комбінованих ріжучих елементів). Правильний вибір типу знаряддя під конкретні ґрунтові умови теж важливий: у піщаних ґрунтах краще працюють інструменти з підвищеною твердістю і зменшеною площею контакту (щоб зменшити тертя), тоді як у важких глинистих – інструменти з хорошою ударною в'язкістю і протиприлипальними властивостями.

При деталізованому розгляді процесу зносу безпосередньо на робочій поверхні знаряддя можна виділити кілька стадій і характерних ознак. Робоча поверхня нового інструменту спочатку має певну мікрогеометрію (шорсткість від обробки). На перших годинах роботи відбувається притирання – нерівності згладжуються абразивом, на поверхні з'являються хаотичні подряпини. Після цього встановлюється більш стабільний режим зношування, коли рельєф поверхні пристосовується до дії потоку частинок. Основний механізм, як згадувалося, – це утворення численних дрібних подряпин і борозен вздовж напрямку відносного руху ґрунту. Дослідження шорсткості реально напрацьованих плугів показало, що на їх робочій поверхні переважають поздовжні риски, причому середня глибина подряпин (R_z) приблизно в 2,7 рази перевищує висоту гребнів (R_a) [1]. Це означає, що матеріал здебільшого видаляється у вигляді стружки, а не нагромаджується на поверхні. Під мікроскопом (SEM) зношена поверхня ґрунтообробного знаряддя виглядає як «пейзаж» з паралельних канавок різної ширини і глибини, з окремими залисинами і вибоїнами.

Наприклад, на рисках леміша, що працював у піщаному ґрунті, були помітні як вузькі глибокі подряпини, так і ширші борозни з підняттям губок металу по краях [1]. На краях деяких борозен спостерігалися дрібні тріщини, а місцями – відламані шматочки гребнів, утворюючи дрібні ямки. В цих ямках нерідко залишаються зерна ґрунту – абразив, що застряг у матеріалі після удару. Також були зафіксовані поодинокі округлі заглибини – пінхоли, які виникли від ударів більших камінчиків під крутим кутом. Навколо таких вибоїн видно не деформований пластичний край, що свідчить про крихке руйнування (відколювання) матеріалу в цих точках. У більш дрібнозернистому ґрунті картина дещо інша: подряпини дрібніші і менш глибокі, зате їх більше; широких борозен майже немає. Натомість число дрібних вибоїн-пінхолів більше і багато з них теж заповнені часточками абразиву. Це вказує, що при переважанні дрібного абразиву матеріал зношується радше шляхом мікрорізання (стирання порошком), а великі зерна, якщо трапляються, влучають рідко, але все ж створюють локальні глибші пошкодження. Цікаво, що для обох типів ґрунту не було виявлено принципової різниці в механізмах зносу різних частин плуга (леміш і полиця зношувалися подібно) – визначальним фактором є саме склад ґрунту, а не геометрія цієї площини [1].

На мікрорівні можна побачити також вплив мікроструктури матеріалу на характер зносу. Наприклад, у випадку згаданого дослід з плугами із різних сталей: на мартенсінній сталі утворилися вужчі і дрібніші риси (нижча шорсткість), тоді як м'якша перлітна сталь мав більш рельєфну поверхню після того ж напрацювання [20]. Це узгоджується з тим, що твердіший матеріал більше чинить опір врізанню абразиву – замість глибоких борозен утворюються дрібніші подряпини і частина зерен швидше ковзає, не залишаючи сліду. Натомість м'який метал легко прорізається навіть дрібними частками, звідси вища шорсткість. Крім того, в перлітній сталі спостерігалось більше явищ «мікрооранки» – гребені з деформованого фериту, які з часом можуть відламуватися, створюючи додаткові частки зносу.

Окремо варто згадати вплив динамічних навантажень. Робочі органи зазнають не тільки постійного тертя, а й ударних імпульсів (натрапляння на каміння, грудки). Такі ударні навантаження викликають локальне пластичне деформування та втому матеріалу. На поверхні це проявляється утворенням втомних тріщинок, які при перетині з поверхнею утворюють лусочки, що можуть відшаровуватися. Саме тому на зношених поверхнях інколи видно луски металу – сліди поверхневого втомного руйнування. В літературі це називають *flake wear* – лускове спрацювання. Його інтенсивність зростає при високих контактних тисках і відсутності мастила [2]. При значних ударних навантаженнях можливі й макроскопічні тріщини і сколи матеріалу – наприклад, уламки різальних кромek.

Отже, механізм абразивного зношування робочих поверхонь являє собою сукупність процесів мікрорізання, «мікрооранки», утворення тріщин та виривання часток матеріалу. На робочій поверхні після напрацювання спостерігається характерний мікрорельєф: паралельні подряпини і борозни, подекуди дрібні вибоїни та наклепані ділянки, а також може бути помітне вкраплення абразивних зерен у метал [1]. Такий рельєф і структура поверхневого шару суттєво впливають на подальшу роботу органу – з одного боку, збільшують шорсткість і тим самим підвищують тертя (причина росту тягового опору до 30% [2]), з іншого – можуть частково захищати глибші шари від подальшого зносу (за рахунок наклепу чи окисної плівки). Розуміння цих процесів на мікрорівні дозволяє шукати шляхи підвищення довговічності – зокрема, через створення матеріалів з оптимальною твердою мікроструктурою, здатних протистояти дряпанню або нанесення покриттів, що зменшують тертя та перешкоджають утворенню тріщин. У підсумку, боротьба з абразивним зношуванням робочих органів ґрунтообробних машин вимагає комплексного підходу – від вибору матеріалу і способу його зміцнення до конструктивних рішень і режимів експлуатації, які мінімізують дію руйнівного абразиву.

Література

1. Stawicki T., Kostencki P., Białobrzaska B. Roughness of Ploughshare Working Surface and Mechanisms of Wear during Operation in Various Soils. *Metals*. 2018. Vol. 8. P. 1042. doi:10.3390/met8121042.
2. Ying Wang, Dong Li, Cheng Nie, Pan Gong, Junsheng Yang, Zhigang Hu, Bin Li, Ming Ma. Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. *Materials*. 2023. Vol. 16. P. 7646. <https://doi.org/10.3390/ma16247646>.
3. Malvajerdi A. S. Wear and coating of tillage tools: A review. *Heliyon*. 2023. Vol. 9(6). P. e16669. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e16669.
4. Ying Wang, Dong Li, Cheng Nie, Pan Gong, Junsheng Yang, Zhigang Hu, Bin Li, Ming Ma. Research Progress on the Wear Resistance of Key Components in Agricultural Machinery. *Materials (Basel)*. 2023. Vol. 16(24). P. 7646. doi: 10.3390/ma16247646
5. Borak K. V. Impact of the Form Factor of the Abrasive Particles of the Soil on the Intensity of the Tilling Machines Tools Wear. *Machine-Building and Transport*. 2020. URL: <https://works.vntu.edu.ua/index.php/works/article/view/560>. (accessed: 02.04.2023).
6. Aulin V., Arifa W., Borak K. Amélioration de la résistance à l'usure des outils de travail des machines aratoires à disques. *Journal of Applied Biosciences*. Vol. 83. P. 7545–7553.
7. Kalácska Á, Baets P., Fauconnier D. Abrasive wear behaviour of 27MnB5 steel used in agricultural tines. *WEAR*. 2020. Vol. 442. doi:10.1016/j.wear.2019.203107.
8. Refai M., Hamid Z. A., El-kilani R. M., Nasr G. E. Electrodeposition of Ni–ZnO Nano-Composite for Protecting the Agricultural Mower Steel Knives. *Chem. Papers*. 2021. Vol. 75. P. 139–152. doi: 10.1007/s11696-020-01291/
9. Lu Z.-L., Zhou Y.-X., Rao Q.-C., Jin Z.-H. An Investigation of the Abrasive Wear Behavior of Ductile Cast Iron. *J. Mater. Process. Technol.* 2001. Vol. 116. P. 176–181. doi: 10.1016/S0924-0136(01)01013-5.
10. Refai M., Hamid Z. A., El-kilani R. M., Nasr G. E. Electrodeposition of Ni–ZnO Nano-Composite for Protecting the Agricultural Mower Steel Knives. *Chem. Papers*. 2021. Vol. 75. P. 139–152. doi: 10.1007/s11696-020-01291-2.
11. Kostencki P., Stawicki T., Królicka A. Wear of Ploughshare Material with Regards to the Temperature Distribution on the Rake Face When Used in Soil. *J. Tribol.* 2022. Vol. 144. P. 041704. doi: 10.1115/1.4053586.
12. Vidaković I., Heffer G., Grilec K., Samardžić I. Resistance of Modified Material Surfaces for Agricultural Tillage Tools to Wear by Soil Particles. *Metalurgija*. 2022. Vol. 61. P. 355–358.
13. Zamri Bin Yusoff, Shamsul Baharin Jamaludin. Tribology and Development of Wear Theory: Review and Discussion. *International Journal of Current Research and Review*. Feb 2011. Vol. 03, issue 02. P. 13–26.
14. Pirso J.; Viljus M.; Letunovič S.; Juhani K.; Joost R. Three-Body Abrasive wear of Cermets. *Wear*. 2011. Vol. 271. P. 2868–2878.
15. Engqvist H.; Axén N. Abrasion of Cemented Carbides by Small Grits. *Tribol. Int.* 1999. Vol. 32. P. 527–534.
16. Tjong S.; Lau K. Abrasion resistance of stainless-steel composites reinforced with hard TiB₂ particles. *Compos. Sci. Technol.* 2000. Vol. 60. P. 1141–1146.
17. Larsen-Basse J.; Koyanagi E. T. Abrasion of WC-Co alloys by quartz. *J. Lubr. Technol.* 1979. Vol. 101. P. 208–211.
18. Tabor D. The physical meaning of indentation and scratch hardness. *Br. J. Appl. Phys.* 1956. Vol. 7. 159 p.
19. Wahl H. Verschleiß probleme in Braunkohlenbergbau. *Braunkohle Wärme Energie*. 1951. Vol. 3. P. 75–87.
20. Stawicki T., Białobrzaska B., Kostencki P. Tribological Properties of Plough Shares Made of Pearlitic and Martensitic Steels. *Metals*. 2017. Vol. 7(4). 139 p. <https://doi.org/10.3390/met7040139>.
21. Zygmunt Owsiak. Wear of symmetrical wedge-shaped tillage tools. *Soil and Tillage Research*. Vol. 43. Issue 3–4. P. 295–308. DOI: 10.1016/s0167-1987(97)00020-2.
22. Jagseer Singh, Sukhpal Singh Chatha, Buta Singh Sidhu. Abrasive wear characteristics and microstructure of Fe-based overlaid ploughshares in different field conditions. *Soil and Tillage Research*. January 2021. Vol. 205. 104771 p.
23. Novák P., Müller M., Hrabě P. Application of overlaying material on surface of ploughshare for increasing its service life and abrasive wear resistance. *Agronomy Research*. 2015. Vol. 13(1). P. 158–166.

УДК 676.1:621.6

КОНСТРУКЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ М'ЯТТЯ ХВОЇ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИТИСКАННЯМ

MACHINE DESIGN FOR PINE NEEDLE CRUSHING WITH HYDRAULIC PRESSING

Герасимчук Олександр, Охремов Андрій

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

The feasibility of using a crushing operation to intensify the process of obtaining textile fiber from pine needles has been proven, and a principal scheme of a crushing machine with hydraulic pressing has been developed.

У сучасному світі, де сталий розвиток та екологічна відповідальність набувають все більшого значення, інноваційні підходи до виробництва матеріалів із природних ресурсів стають особливо актуальними [1]. Текстильні волокна з хвої сосни звичайної розглядаються як перспективна альтернатива традиційним натуральним волокнам [2]. Хвоя є побічним продуктом лісозаготівлі, який нині часто утилізують шляхом спалювання або залишають у лісі, що загрожує ділянки та підвищує пожежну небезпеку [3]. Водночас хвоя містить низку біологічно активних компонентів і вже застосовується у різних галузях: виробництві біопалива [4], отриманні целюлози та наноцелюлози [5], косметології й медицині [2]. Концепція отримання текстильних волокон із соснової хвої під назвою «Forest Wool» отримала міжнародну премію Green Product Award [1], що підтверджує актуальність цього напрямку. Хоча сама ідея отримання волокна з хвої відома ще з XIX століття [8], досі не створено універсальної економічно та екологічно ефективної технології такого процесу в промисловому масштабі.

Існують три підходи до отримання волокнистих матеріалів із рослинної сировини: біологічний, механічний та хімічний [6]. Для хвої механічні методи базуються на операціях плющення або м'яття. Плющення реалізується пропусканням хвої між гладкими валками з великим тиском, що призводить до зменшення її товщини [7]. М'яття передбачає пропускання хвої між рифленими (насіченими) валками, при цьому не лише зменшується товщина хвої, а й інтенсивно руйнується епідерміс, що суттєво полегшує подальше хімічне видалення лігніну та смол [6; 7]. Хімічні методи, у свою чергу, забезпечують розщеплення компонентів хвої (зокрема, лігніну) кислотними або лужними розчинами [4; 5], однак найкращі результати отримують саме в разі поєднання механічного м'яття з хімічною обробкою [2; 6].

Мета роботи полягає у розробці принципової схеми машини для м'яття хвої й обґрунтуванні застосування гідравлічного притискання з метою забезпечення сталого зусилля в зоні м'яття.

Запропонована машина для м'яття хвої складається з двох рифлених валків та гідроприводу притискання одного з них (рисунок). Нижній вал (1) є ведучим і приводиться в обертання від електродвигуна через пасову передачу. Верхній вал (2) закріплений на рухомій платформі, яку притискають гідроциліндри (Ц1 та Ц2). Шар хвої, що потрапляє між валками, зазнає інтенсивного проминання і часткового подрібнення, через що епідерміс тріскає як уздовж голок, так і перпендикулярно до них.

Для забезпечення стабільного зусилля притискання валків використовується гідравлічна система з насосною станцією (двигун Д1, насос Н, гідробак Б, клапани й трубопроводи) [6]. Рідина під тиском подається до гідроциліндрів Ц1 та Ц2, які діють на платформу з верхнім валом, створюючи силу притискання. Якщо позначити діаметр поршня гідроциліндра як d , м, то площа поршня становит $S=d^2/4$, а сила, що розвивається на одному

гідроциліндрі, обчислюється за формулою $F=p \cdot S$, де p – робочий тиск рідини в порожнині циліндра. Враховуючи наявність двох однакових гідроциліндрів, сумарна сила притискання дорівнює:

$$F_{\text{sum}}=2F=1/2 \cdot p \cdot d_2. \quad (1)$$

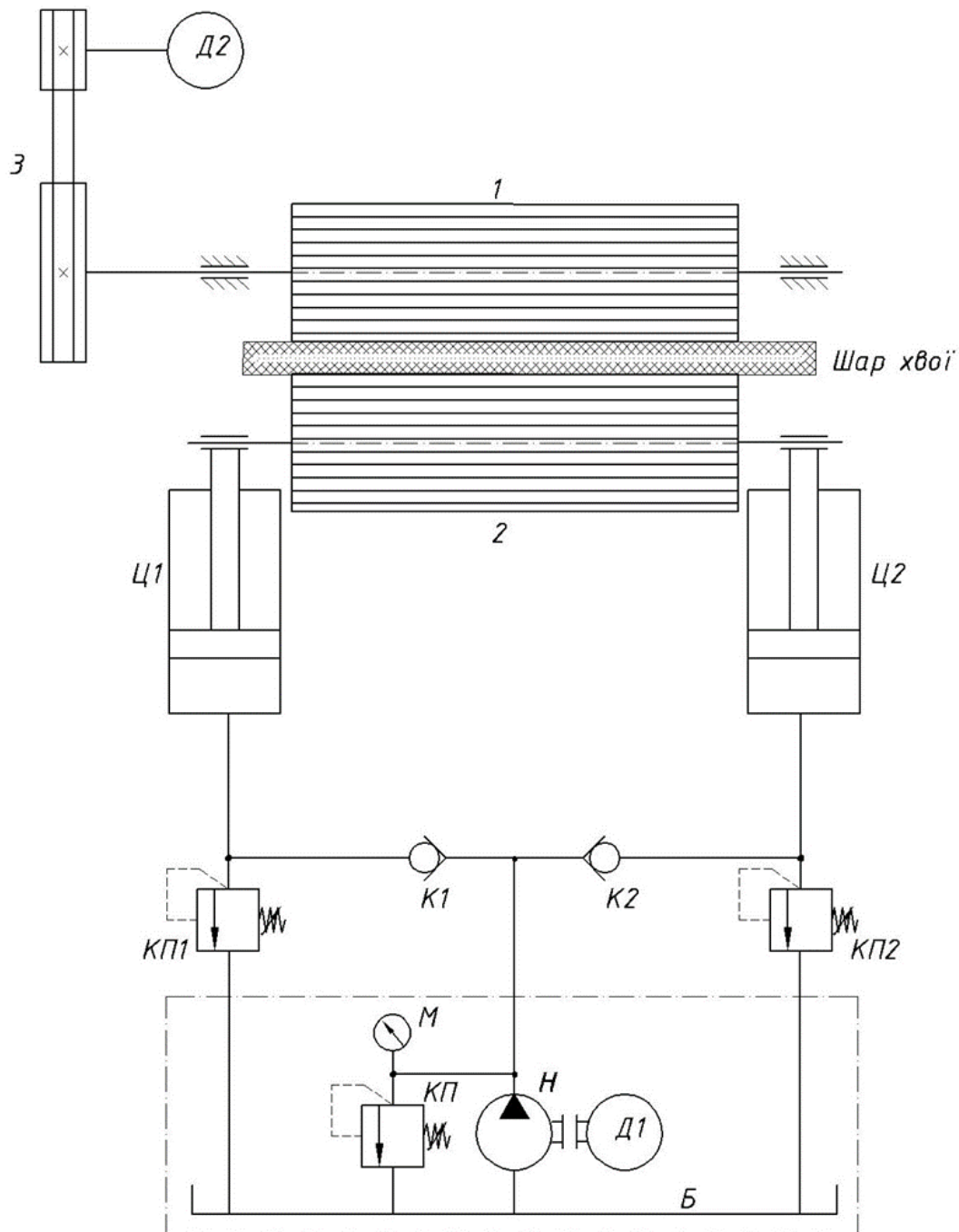


Рисунок. Принципова схема машини для м'яття хвої з гідравлічним притисненням

Запобіжні клапани забезпечують підтримання тиску на заданому рівні, а зворотні клапани фіксують поршні в робочому положенні [7].

За усталеного процесу м'яття сила притискання врівноважується опором шару хвої. Позначимо цей опір як R_{pine}

Тоді для рівноваги маємо:

$$R_{\text{pine}}=F_{\text{sum}}=1/2 \cdot p \cdot d_2. \quad (2)$$

Якщо машина подрібнює дуже велику кількість хвої, то опір R_{pine} зростає і підвищується тиск у порожнинах гідроциліндрів. При цьому запобіжні клапани переходять у

частково відкрите положення, скидаючи надлишкову робочу рідину в бак, щоб не перевищити задане граничне значення рmax. Таким чином, система автоматично підтримує постійний тиск, а отже і постійну силу притискання. Це виключає «просідання» зусилля, притаманне пружинним схемам, і гарантує більш рівномірне м'яття хвої.

Машина для м'яття хвої з гідравлічним притисканням може використовуватися як окремий агрегат або вбудовуватися в комплексну лінію переробки хвойної сировини для отримання текстильного волокна [2; 6]. Попереднє м'яття хвої суттєво полегшує подальшу хімічну обробку, скорочує її тривалість та дозволяє зменшити витрату реагентів. Мікроскопічні дослідження зразків продемонстрували, що після м'яття епідерміс хвої зруйнований, воскові покриття частково вилучені, завдяки чому відбувається швидше і більш рівномірне видалення лігніну [2]. Використання гідравлічного притискання забезпечує стабільність та підвищену продуктивність роботи в порівнянні зі звичайними пристроями з механічними пружинами. Подальші дослідження стосуватимуться оптимізації розмірів рифлів, швидкості подачі хвої та експериментальної оцінки впливу різних тисків на якісні показники волокна.

Література

1. Forest Wool/Pine needle fiber. URL: <https://www.gp-award.com/en/produkte/Forest-Wool> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Dziędziński M., Kobus-Cisowska J., Stachowiak B. Pinus Species as Prospective Reserves of Bioactive Compounds with Potential Use in Functional Food-Current State of Knowledge. *Plants*. 2021. Vol. 10(7). 1316 p.
3. Волинське ОУЛІМГ. Екстракт хвойний натуральний: виробництво унікального продукту... URL: <https://lisvolyn.gov.ua/?p=48314> (дата звернення: 28.03.2025).
4. Bisht A. S., Singh S., Kumar S. R. Pine needles – a source of energy for Himalayan region. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2014. Vol. 3(12). P. 161–164.
5. Rana A., Guleria S., Gupta V. K., Thakur V. K. Cellulosic Pine Needles-Based Biorefinery for a Circular Bioeconomy. *Bioresource Technology*. 2022. Vol. 367. 128255 p.
6. Герасимчук О. П., Ткачук О. Л., Пуць В. С., Охремов А. І. Отримання текстильних волокон з хвої сосни звичайної за допомогою процесів м'яття. *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт* : зб. наук. доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 14–16 травня 2024 р. Луцьк : Вежа-Друк, 2024. С. 86–88. URL: <https://mte.lntu.edu.ua/sites/default/files/2024-05/%D0%A2%D0%B5%D0%B7%D0%B8%20>. (дата звернення: 01.04.2025).
7. Герасимчук О. П., Ткачук О. Л., Пуць В. С., Охремов А. І. Отримання текстильного волокна з хвої за допомогою машини для м'яття з гідравлічним притисканням. *Наукові нотатки*. 2024. Vol. 77. P. 120–124. URL: <https://doi.org/10.36910/775.24153966.2024.77.19>
8. Ткачук О. Л., Герасимчук О. П., Ковальчук Н. П. Обґрунтування технологічного режиму виділення волокна з хвої сосни звичайної. *Сільськогосподарські машини*. 2024. Vol. 50. P. 129–135.

УДК 621.837

ОЦІНКА НАВАНТАЖЕНЬ НА ГУСЕНИЦЮ ПРИ РОБОТІ НА НЕРІВНІЙ ПОВЕРХНІ

EVALUATION OF TRACK LOADS WHEN WORKING ON UNEVEN SURFACES

Голотюк Микола, Маринюк Володимир, Шевчук Тарас

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Оцінка навантажень на гусеницю при роботі на нерівній поверхні є надзвичайно актуальною темою у сфері проектування й експлуатації сільськогосподарської та будівельної техніки. Гусеничний рушій, завдяки своїй великій опорній поверхні та здатності працювати на м'яких і складних ґрунтах, часто використовується для підвищення прохідності техніки. Однак при роботі на нерівних поверхнях, таких як горбисті поля, ділянки з коліями, кам'янистий рельєф або змерзлий ґрунт, навантаження на окремі ланки гусениці, опорні катки, ведучі й напрямні колеса можуть значно змінюватися. Це, в свою чергу, впливає на знос елементів ходової частини, стабільність машини, тягові характеристики та ресурс роботи гусеничної системи [1; 2].

Аналіз навантажень на гусеницю при русі машини по нерівній поверхні є ключовим етапом у забезпеченні її надійної роботи. Гусеничний рушій — це складна механічна система, яка в умовах нерівного рельєфу зазнає динамічних і змінних навантажень, що впливають на її працездатність, довговічність і ефективність. При русі по нерівностях гусенична стрічка зазнає як вертикальних, так і горизонтальних коливань, які змінюють характер розподілу навантаження між опорними елементами.

Дослідження динаміки навантажень на гусеницю в умовах нерівної поверхні показують, що основним чинником, який викликає зміну навантаження, є вертикальні коливання ходової частини під дією зовнішніх збурень від ґрунту. Залежно від швидкості руху, маси машини, її центра ваги та типу підвіски гусеничної системи, відбувається нерівномірний розподіл сил між опорними елементами. Особливо це актуально при наїзді на перешкоди, коли навантаження на передню чи задню частину гусениці різко зростає. Це може призводити до локального перевантаження траків, деформацій або навіть їх руйнування [3; 4].

Під час наїзду на перешкоди — каміння, грудки, борозни або колії — окремі траки гусениці стикаються з твердими точками поверхні раніше за інші, що спричиняє локальне збільшення навантаження. Це навантаження може досягати пікових значень, які перевищують номінальні в 1,5–2 рази. Такі ударні навантаження небезпечні для металевих ланок, спричиняють пластичні деформації, мікротріщини, а згодом і руйнування траків або їх роз'єднання. Крім того, при поперечному нахилі машини гусениця з одного боку зазнає більшого тиску, ніж з іншого, що призводить до нерівномірного зносу й зменшення ресурсу ходової частини. Наприклад, при роботі на схилах під кутом понад 12–15°, тиск на ліву чи праву гілку гусениці може зростати до 60% від загальної маси машини, що перевищує звичайні робочі умови.

Дослідження показали, що швидкість руху істотно впливає на характер навантажень. При збільшенні швидкості до 10–12 км/год навіть на помірно нерівній поверхні різко зростає динамічна складова навантажень, особливо у передній частині гусениці. Поява резонансних коливань може призводити до втрати контакту з опорною поверхнею, що вкрай негативно впливає на тягову здатність і стійкість руху.

Для оцінки таких навантажень у науковій практиці широко застосовують методи комп'ютерного моделювання, зокрема з використанням програмного забезпечення типу

SolidWorks Simulation, Ansys або RecurDyn. Створюються тривимірні моделі гусеничного рушія з урахуванням гнучких елементів та змінного профілю поверхні. В результаті можна отримати графіки розподілу напружень у матеріалі, побудувати карти контактних сил між гусеницею і опорною поверхнею, визначити критичні точки по зносу.

Експериментальні методи також займають важливе місце в оцінці навантажень. Застосовують тензометричні вимірювання на гусеничних стрічках та елементах підвіски, встановлюють інерційні датчики (акселерометри) для фіксації коливань, що дозволяє отримати реальні значення прискорень і сил у різних режимах експлуатації. Наприклад, при випробуваннях гусеничних тракторів у польових умовах виявлено, що в момент проходження перешкоди висотою 120 мм тиск на передній трак може зростати у 1,7–2 рази у порівнянні з рівною поверхнею. Крім того, амплітуда коливань у вертикальній площині збільшується до 30%, що викликає додаткові навантаження на підшипники і вали ведучих коліс.

Оцінка навантажень також залежить від конструктивних параметрів гусеничного рушія: довжини гусеничної стрічки, кількості опорних котків, типу підвіски (жорстка, балансірна, торсіонна), а також матеріалу самих траків. Наприклад, гусениці зі сталевими траками демонструють вищу зносостійкість, але мають більшу жорсткість, що погіршує адаптацію до рельєфу. Натомість гумотросові гусениці, завдяки своїй гнучкості, краще поглинають удари, але мають обмежений ресурс при значних ударних навантаженнях.

Особливу увагу слід приділяти умовам експлуатації у перехідні періоди року, коли через перепади температур відбувається зміна жорсткості ґрунту, наявність льоду чи розм'якшеного шару. Такі умови створюють додаткові ризики прослизання, пробуксовування і виникнення несиметричних навантажень, які провокують перекоси у гусеничній стрічці, прискорений знос напрямних коліс та траків.

Підвищити ресурс гусеничних систем можна за рахунок раціонального проектування геометрії профілю трака, запровадження демпферних вставок, використання високоміцних сталей та полімерів, а також автоматизації управління натягом гусениці в залежності від зміни навантажень. Такі системи, вже впроваджені в деяких моделях тракторів класу Claas та John Deere, дозволяють підтримувати оптимальний натяг стрічки, зменшувати знос і покращувати ефективність руху.

Таким чином, оцінка навантажень на гусеницю при русі по нерівній поверхні є ключовим фактором у забезпеченні надійності й довговічності гусеничної техніки. Подальші дослідження у цій сфері повинні бути спрямовані на вдосконалення методик математичного та експериментального моделювання, розробку інтелектуальних систем адаптивного регулювання та впровадження нових матеріалів із високими експлуатаційними характеристиками. Це забезпечить стабільну роботу техніки навіть у найскладніших умовах і дозволить зменшити витрати на її обслуговування.

Література

1. Голубков А. В. Вплив змін клімату на сільськогосподарське виробництво: теоретичні та практичні аспекти. Харків : Технологія, 2020. 180 с.
2. Налобіна О. О., Голотюк М. В., Пуць В. С. Дослідження впливу ущільнення ґрунту на його основні характеристики. *Сільськогосподарські машини* : зб.наук. ст. Луцьк, 2023. Вип. 49. С. 39–45.
3. Liu J., et al. Impact of Climate Change on Tracked Vehicles: A Comparative Study. *Journal of Environmental Engineering*. 2020. Vol. 67, No. 7. P. 41–47.
4. Налобіна М. В., Голотюк М. В., Пуць В. С. Теоретичні передумови систематизації типорозмірів міні-тракторів. *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті* : науковий журнал. Луцьк : Луцький НТУ, 2021. № 1(16). С. 18–22.

УДК 621.865:004.896

ІННОВАЦІЙНЕ АГРОЕКОЛОГІЧНЕ РІШЕННЯ: РОБОТ ДЛЯ ПРОПОЛЮВАННЯ ЦИКЛЕР

INNOVATIVE AGRO-ECOLOGICAL SOLUTION: CYCLER WEEDING ROBOT

Горрі Себастьян¹, Цимбал Богдан²

¹Приватне підприємство «Циклер», Пресак, Франція

²ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, Україна

²Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

Cyclair's innovative robot for weeding offers an eco-friendly solution to agriculture by eliminating the need for harmful herbicides. Combining AI, machine vision, and mechanical systems, it efficiently identifies and removes weeds while preserving crops. This approach helps farmers transition to more sustainable practices, promoting environmental protection and economic efficiency. By reducing pesticide reliance, Cyclair's technology contributes to healthier ecosystems and soil conservation.

Сільське господарство сьогодні стикається з серйозними викликами, зокрема необхідністю скорочення використання хімічних пестицидів та переходу до більш екологічних методів ведення господарства. У відповідь на ці виклики компанія Циклер розробила інноваційного автономного робота для прополювання, що поєднує в собі машинобудування, штучний інтелект та передові системи керування. Це рішення дозволяє ефективно та екологічно знищувати бур'яни без використання гербіцидів, зменшуючи навантаження на довкілля та сприяючи сталому розвитку аграрного сектору.

Робот Cyclair (рисунок) є автономним мобільним пристроєм, який оснащений передовими датчиками, штучним інтелектом та механічними пристроями для видалення бур'янів. Його конструкція включає міцний алюмінієвий каркас, систему незалежної підвіски, що дозволяє адаптуватися до нерівностей ґрунту, та електродвигуни потужністю 2 кВт кожен для забезпечення плавного руху. Живлення здійснюється від літій-іонного акумулятора ємністю 10 кВт·год, що забезпечує до 8 годин безперервної роботи.



Рисунок. Робот Cyclair

Для ефективного прополювання робот використовує механічні елементи, такі як роторні або гідравлічні лапи, які дозволяють видаляти бур'яни разом із корінням без шкоди для культурних рослин. Робоча ширина обробки становить 1,5 метра, що дозволяє обробляти значні площі за короткий час.

Принцип дії пристрою базується на поєднанні комп'ютерного зору та штучного інтелекту. Вбудовані камери високої роздільної здатності (12 МП) та спектральні сенсори збирають зображення поля, які аналізуються нейронними мережами для точного розпізнавання бур'янів. Далі система керування приймає рішення про механічне видалення небажаної рослинності, керуючи відповідними інструментами. Робот також оснащений навігаційними датчиками, такими як LiDAR з дальністю 30 м та GPS з точністю до 2 см, що дозволяє йому самостійно будувати маршрут пересування та обходити перешкоди.

Система керування робота Cyclaig є ключовим елементом його автономності. Вона складається з центрального комп'ютера з обчислювальною потужністю 4 TFLOPS, який обробляє дані від численних сенсорів, та виконавчих механізмів, що відповідають за рух і роботу прополювальних пристроїв. Інтерфейс управління дозволяє операторам налаштовувати параметри роботи через мобільний додаток або вебплатформу.

Робот від Cyclaig оснащений сенсорами та камерами, які дозволяють йому аналізувати навколишнє середовище та розпізнавати бур'яни серед культурних рослин. Використовуючи алгоритми штучного інтелекту, він здатен самостійно будувати оптимальний маршрут руху полем, без необхідності попереднього програмування або використання GPS-навігації. Це особливо важливо для великих посівних площ зі складною геометрією, де традиційні методи навігації є малоефективними.

Принцип дії робота базується на механічному видаленні бур'янів за допомогою спеціальних інструментів, що дозволяє зменшити або повністю відмовитися від використання хімічних засобів захисту рослин. Згідно з даними компанії, застосування цього робота дозволяє знизити індекс використання фітосанітарних засобів на 38% для озимої пшениці та до 75% для кукурудзи, що еквівалентно економії від 3 до 5 літрів гербіцидів на гектар. Крім того, використання електричного приводу сприяє зменшенню викидів CO₂, що відповідає сучасним екологічним вимогам [1].

Робот може працювати в кількох режимах: повністю автономному, напівавтоматичному (з контролем оператора) або в режимі навчання, коли він адаптується до конкретних умов поля. Інтелектуальні алгоритми дозволяють йому виявляти зміни в навколишньому середовищі та коригувати маршрут руху відповідно до зібраних даних. Крім того, пристрій має систему самодіагностики, що дозволяє виявляти несправності та надсилати повідомлення оператору про необхідність технічного обслуговування.

Однією з головних переваг цього пристрою є його екологічність. Використання механічних методів боротьби з бур'янами дозволяє відмовитися від гербіцидів, що знижує забруднення ґрунту та водних ресурсів. Це особливо важливо в умовах зростаючої уваги до екологічних стандартів та законодавчих обмежень на використання хімічних речовин у сільському господарстві.

Серед основних переваг робота від Cyclaig можна виділити його автономність, що знижує потребу в ручній праці та дозволяє фермерам зосередитися на інших аспектах господарювання. Висока точність у розпізнаванні та видаленні бур'янів забезпечує збереження культурних рослин та підвищення врожайності. Економічна вигода досягається за рахунок зменшення витрат на закупівлю та застосування хімічних засобів, а також зниження витрат на паливо та обслуговування техніки.

Крім того, робот Cyclaig забезпечує високу точність прополювання. Завдяки використанню сенсорних систем та алгоритмів штучного інтелекту, він може ефективно відрізняти культурні рослини від бур'янів, що мінімізує ризик пошкодження врожаю. Це робить його особливо цінним для таких культур, як пшениця, кукурудза, ріпак, соняшник та інші, які займають значну частку сільськогосподарських угідь у Франції.

Ще однією важливою перевагою є економічна ефективність. Використання робота дозволяє значно скоротити витрати на засоби захисту рослин, а також зменшити потребу в ручній праці. В умовах, коли залучення додаткової робочої сили є дорогим та складним завданням, автоматизоване рішення стає особливо привабливим для фермерів.

Розробка робота Cyclair розпочалася у 2019 році, і на сьогодні він вже проходить передсерійне тестування. У 2024 році сім тестових моделей було розгорнуто на полях клієнтів для перевірки їхньої ефективності у реальних умовах. Це дозволило розробникам оцінити продуктивність пристрою порівняно з традиційними методами, що базуються на використанні гербіцидів.

Робот для прополювання від компанії Cyclair є яскравим прикладом того, як сучасні технології можуть сприяти екологічній трансформації сільського господарства. Поєднання штучного інтелекту, машинобудування, автономної роботи та передових систем керування дозволяє не лише скоротити використання шкідливих хімічних речовин, а й забезпечити економічно ефективне ведення фермерського господарства. Завдяки цьому рішення фермери можуть досягти високої продуктивності без шкоди для навколишнього середовища, що є важливим кроком на шляху до сталого майбутнього агропромислового сектору.

Література

1. Cyclair – Aider les agriculteurs à réussir la transition agro-écologique. Cyclair. URL: <https://cyclair.fr/aider-les-agriculteurs-a-reussir-la-transition-agro-ecologique/> (дата звернення: 27.03.2025).

УДК 004.925.8

ЗАСТОСУВАННЯ 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ УДОСКОНАЛЕНІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

APPLICATION OF 3-D MODELING IN THE IMPROVEMENT OF THE PROCESS OF RESTORATION OF MACHINE PARTS

Грабар Іван¹, Ковальчук Максим¹, Вензовська Наталія²

¹Поліський національний університет, бульвар Старий 7, м. Житомир, 10008

²Житомирський агротехнічний фаховий коледж, вул. Покровська 96, м. Житомир, 10031

В сучасному світі машинобудування та виробництва існує постійна потреба в оптимізації процесів, що забезпечує підвищення якості, зниження витрат і збільшення терміну експлуатації устаткування. Однією з найсучасніших технологій, яка активно впроваджується в різних галузях промисловості, є 3-D моделювання. Воно дозволяє створювати точні цифрові копії деталей і конструкцій, що відкриває широкі можливості для їх аналізу, діагностики та відновлення.

3-D моделювання – це метод створення цифрових тривимірних моделей об'єктів, що дозволяє візуалізувати та аналізувати їхню геометрію, фізичні властивості і функціональні характеристики. Завдяки використанню спеціалізованого програмного забезпечення, інженери можуть отримувати точне зображення як окремих елементів конструкції, так і всієї машини. Такий підхід дозволяє:

- виявляти дефекти – цифрова модель дозволяє детально розглянути кожен елемент деталі, визначити області з можливими пошкодженнями чи зносом;
- оптимізувати дизайн – аналіз цифрової моделі дає змогу внести необхідні корективи в конструкцію, що сприяє підвищенню ефективності роботи деталі;
- зменшувати витрати часу та ресурсів – створення цифрової копії дозволяє експериментувати з різними варіантами ремонту без необхідності фізичного втручання у конструкцію.

За останнє десятиліття технології 3-D моделювання значно розвинулися. Сучасні системи забезпечують високу точність відображення реальних об'єктів, що робить їх незамінним інструментом не лише в проектуванні, але й у відновленні деталей машин.

Однією з основних переваг застосування 3-D моделювання є можливість детального аналізу пошкоджених або зношених елементів машин. Серед основних переваг можна виділити:

Підвищення точності діагностики. (Завдяки використанню цифрових моделей, інженери можуть точно визначити ступінь зносу, тип пошкодження та його локалізацію. Це дозволяє розробляти більш ефективні методи ремонту, орієнтуючись на конкретні проблеми. Детальний аналіз дозволяє також оцінити вплив зовнішніх факторів, таких як температура, вібрації та механічні навантаження, на стан деталі).

Економія часу та ресурсів. (Створення 3-D моделі дозволяє проводити численні симуляції процесу відновлення, що зменшує необхідність проведення численних фізичних експериментів. Зниження витрат на матеріали та робочу силу завдяки оптимізації технологічних процесів).

Можливість прогнозування терміну служби деталі. (Аналіз цифрової моделі дозволяє проводити чисельні розрахунки з урахуванням різних сценаріїв експлуатації, що допомагає визначити потенційні проблемні ділянки ще на етапі проектування ремонту. Прогнозування терміну служби деталі дозволяє планувати профілактичні роботи та уникати аварійних ситуацій).

Інтеграція з іншими сучасними технологіями. (3-D моделювання легко інтегрується з системами автоматичного керування виробничими процесами, системами комп'ютерного числового керування (ЧПК) та роботизованими технологіями. Це сприяє створенню єдиної цифрової платформи, де всі етапи від діагностики до відновлення можуть бути автоматизовані).

Застосування 3-D моделювання у процесі відновлення деталей машин демонструє високий потенціал для модернізації традиційних ремонтних технологій. Переваги цифрового моделювання – від високої точності діагностики до можливості проведення численних симуляцій – дозволяють оптимізувати процес ремонту, знизити витрати та підвищити надійність машинобудівних агрегатів.

У перспективі розвиток технологій штучного інтелекту, доповненої реальності та інтеграції з хмарними сервісами дозволить створити ще більш ефективні системи управління процесом відновлення. Важливу роль у цьому процесі відіграватимуть дослідження, спрямовані на підвищення точності цифрового моделювання, розробку нових матеріалів та методів їх відновлення.

Крім того, впровадження універсальних стандартів та нормативних документів сприятиме обміну досвідом між підприємствами з різних країн, що дозволить створити глобальну цифрову екосистему для ремонту та відновлення машин. Це, своєю чергою, позитивно вплине на розвиток промисловості загалом, забезпечуючи високий рівень якості та безпеки продукції.

Підсумовуючи, можна сказати, що 3-D моделювання стає потужним інструментом для удосконалення процесу відновлення деталей машин. Його впровадження дозволяє не лише оптимізувати ремонтні роботи, але й створити передумови для подальших інновацій у галузі машинобудування. Завдяки цим технологіям підприємства отримують можливість оперативно реагувати на виклики сучасного виробництва, забезпечуючи високу конкурентоспроможність та довгострокову стабільність своєї діяльності.

Сучасні технології 3-D моделювання відкривають нові горизонти для удосконалення процесу відновлення деталей машин. Інтеграція цифрових інструментів у традиційні виробничі та ремонтні процеси дозволяє досягти високої точності, економії ресурсів і підвищення загальної ефективності роботи підприємств. Сучасний етап розвитку технологій відкриває широкі можливості для інноваційних рішень, що сприятимуть зміцненню позицій машинобудівної галузі на світовому ринку.

Запровадження 3-D моделювання у процес відновлення не тільки сприяє оптимізації поточних ремонтних робіт, але й створює передумови для подальшої інтеграції цифрових технологій у всі аспекти виробничої діяльності. В умовах швидкого розвитку технологій, підприємства, що вчасно впроваджують інноваційні підходи, отримують значну конкурентну перевагу, що дозволяє їм ефективно реагувати на виклики сучасного ринку та забезпечувати стабільність виробництва.

Таким чином, використання 3-D моделювання є невід'ємною складовою сучасного підходу до відновлення деталей машин, що сприяє підвищенню якості, зниженню експлуатаційних витрат та забезпеченню безпеки експлуатації обладнання. Цей підхід має значний потенціал для подальшого розвитку та інтеграції з іншими інноваційними технологіями, що дозволить забезпечити подальший прогрес у машинобудуванні та суміжних галузях.

На завершення, можна зазначити, що перспективи використання 3-D моделювання в процесі відновлення деталей машин є надзвичайно перспективними. Успішна інтеграція цифрових технологій в ремонтні процеси дозволяє підприємствам забезпечити високу точність, оптимізувати витрати та збільшити термін служби обладнання, що є важливими чинниками для досягнення сталого розвитку сучасної промисловості.

УДК 631.31

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРІЗАННЯ ТА ПІДЙОМУ ҐРУНТУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ҐРУНТООБРОБНОЇ УСТАНОВКИ

RESEARCH OF THE PROCESS OF CUTTING AND LIFTING SOIL BY THE WORKING BODIES OF THE SOIL TILLING MACHINE

Грубань Василь, Храмов Микита

Миколаївський національний аграрний університет, м. Миколаїв, Україна

The subject of the study is the process of functioning of the disk working bodies and the share of the tillage loosening and separating unit, which carries out the lifting and separation of the soil. The soil is loosened and scattered to the sides, without providing the necessary support necessary for moving it to the lifting and separating device. In order for the soil not to pile up and not scatter to the sides, freely rotating disks are installed on both sides of the share.

Вступ. Проблема зниження негативного впливу механізованого обробітку ґрунту та витрат енергії на його проведення виникли в першій половині минулого сторіччя та є актуальними в міру збільшення інтенсифікації виробництва і маси сільськогосподарської техніки. Сучасні світові тенденції на отримання екологічно чистої продукції вимагають часткової відмови від хімічних засобів боротьби з бур'янами. Робочі органи ґрунтообробних машин не забезпечують раціонального впливу на ґрунт з точки зору агрономічної науки і еколого-економічних вимог. Тому для вдосконалення процесів обробітку ґрунту необхідний комплексний підхід до питань зменшення руйнування робочими органами машин і знарядь структури ґрунту і розробки технологічних процесів, що забезпечують оптимізацію його агрофізичних властивостей і вдосконалення технологій вирощування сільськогосподарських культур з метою зниження витрат енергії на одиницю отриманої продукції.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Поверхневий обробіток ґрунту проводиться з метою кришіння пласта, подрібнення пожнивних залишків, знищення бур'янів і вирівнювання поверхні поля [1; 2].

При обробітку ґрунту традиційними знаряддями і машинами розвивається складний напружений стан від спільної дії деформацій стиснення, розтягання і зсуву. При цьому превалюючими є деформація стиснення і зсуву. Оскільки ґрунт відносяться до анізотропних матеріалів з міцністю при розтягуванні значно меншим, ніж міцність при стисненні, доцільним є використання робочих органів, що здійснюють відрив ґрунту від масиву [3].

Викладення основного матеріалу. При переміщенні експериментальної ґрунтообробної установки, плоскі диски, що вільно обертаються сприяють відриву ґрунту від масиву, що є затисненим між ними і далі здійснюють його переміщення за лемішем [1; 4; 5]. Одночасно стрілочата лапа забезпечує заглиблення та підйом шару ґрунту, часткове його кришіння та утворює ґрунтове ядро перед лемішем, і здійснюючи рух, потрапляє на сепаруючу решітку. Також напрямні диски обмежують згруджування ґрунту з леміша на сторони.

Припустимо, що бічна поверхня дисків взаємодіє з частинками ґрунту, що переміщується під дією леміша і не зміщує їх. В такому випадку рівняння руху частинки відносно диска мають вигляд:

$$\begin{aligned}x_i &= (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \cos \omega t + (R_i \sin \alpha_i + z_n) \sin \omega t; \\z_i &= (R_i \cos \alpha_i - v_n t) \sin \omega t - (R_i \sin \alpha_i + z_n) \cos \omega t,\end{aligned}$$

де R_i – відстань від осі обертання диска до розглянутої i -ої точки;

α_i – кут, що характеризує розташування частинки за глибиною h ;

v_n – проекція відносної швидкості руху ґрунту за лемішем на напрямок руху машини;
 t – час руху;
 ωt – кут повороту дисків.

Напрямок сили тертя частинки ґрунту за диском збігається з вектором його відносної швидкості, що діє за дотичною до траєкторії руху. Останнє описується рівнянням [6]:

$$z_k = \frac{A_1}{B_1} x_k - \frac{C_1}{B_1},$$

де x_k, z_k – поточні координати дотичної лінії.

$$A_1 = z^2; B_1 = x^2; C_1 = z^2 x - z x^2.$$

Тоді

$$\begin{aligned} A_n &= [\omega_n (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - z] \cos \omega t + \\ &+ [\omega (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v] \sin \omega t; \\ B_n &= [\omega_n (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v] \cos \omega t - \\ &- [\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - z] \sin \omega t; \\ C_n &= \omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega (R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 - \\ &- R_i (v_n \sin \alpha_i + z_n \cos \alpha_i). \end{aligned}$$

Полярна відстань моменту сил тертя частинки ґрунту відносно вісі обертання диска знаходиться за формулою [4]:

$$l_n = \frac{|C_n|}{\sqrt{A_n^2 + B_n^2}}.$$

Після перетворень отримаємо:

$$\begin{aligned} l_n &= \left[\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t)^2 + \omega (R_i \sin \alpha_i + z_n)^2 - R_i (v_n \sin \alpha_i + z_n \cos \alpha_i) \right] / \\ &/ \left\{ [\omega (R_i \cos \alpha_i - v_n t) - z]^2 + [\omega (R_i \sin \alpha_i + z_n) - v]^2 \right\}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad (1)$$

Для отримання рівняння граничної лінії, що розділяє зони тертя, прирівняємо l_n до нуля. Якщо відлік часу почнемо з моменту потрапляння частинки ґрунту на граничну лінію, тоді рівняння (1) буде мати такий вигляд:

$$R_i = \frac{1}{\omega} (v_n \sin \alpha_i + z_n \cos \alpha_i), \quad (2)$$

де ω – кутова швидкість плоского диска.

Схема розподілу зон тертя на бічній поверхні плоского диска, отримана на підставі рівняння (2), показана на рис. 1. Аналіз зміни напрямку дії сил тертя диска при русі ґрунту за лемішем показує, що більш сприятливою є зона поза граничної лінії. У цій зоні кут між вектором швидкості руху ґрунту і напрямком дії на нього сил тертя дисків найменша, що створює найбільш сприятливі умови для зниження згруджування ґрунту на леміші [7]. Тому параметри і режими роботи пристрою для піднімання ґрунту повинні вибиратись виходячи з умов одержання найменшої площі зони, в якій сили тертя сприяють обертанню дисків. За таких умов на підставі рівняння (2) отримаємо:

$$\omega \geq \frac{v_n}{R - h};$$

де h – глибина ходу дисків.

Вертикальний зсув ґрунту під впливом леміша залежить від його геометричної форми, яку розглянуто у вигляді полінома n -го порядку:

$$z_n = k_0 + k_1 x + k_2 x^2 + \dots + k_n x^n,$$

де $k_0, \dots, k_n$ – коефіцієнти, які визначають геометричний профіль леміша.

При постійному русі ґрунту за лемішем будемо вважати, що $x = v_n t$, тоді

$$z_n = k_0 + k_1 v_n t + k_2 (v_n t)^2 + \dots + k_n (v_n t)^n.$$

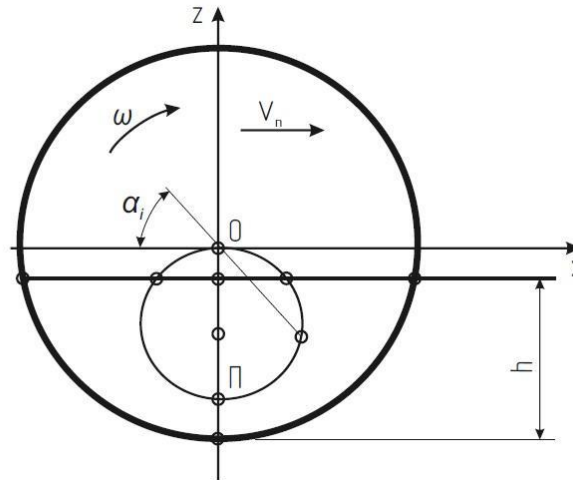


Рис. 1. Схема розподілу зон тертя на поверхні плоского диска

Продиференціював рівняння за часом прийнятої раніше системи відліку ($t=0$), отримаємо $z_n = k_1 v_n$,

де k_1 – тангенс кута нахилу дотичної до кривої, що описує профіль леміша.

У такому випадку рівняння (2) можна записати у вигляді:

$$R_i = \frac{R\tau}{\lambda} (\sin \alpha_i + k_1 \cos \alpha_i), \quad (3)$$

де $\lambda = \frac{\omega R}{v_n}$ – кінематичний параметр обертання дисків;

$\tau = \frac{v_n}{v_m}$ – співвідношення між поступальною швидкістю ґрунту і робочих органів установки.

Аналіз рівняння (3) з точки зору впливу сил тертя напрямних дисків на ґрунт показує, що умови руху ґрунту покращуються зі зменшенням радіусу дисків і кута нахилу леміша, а також зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і згруджування ґрунту на леміші. На рис. 2–4 наведено залежності згруджування ґрунту за лемішем в залежності від радіуса дисків, кінематичного параметра їх обертання і кута постановки леміша. З рис. 3 видно, що збільшення радіусу дисків з 0,175 до 0,270 м призводить до підвищення товщини шару ґрунту на леміші не більше ніж на 17%.

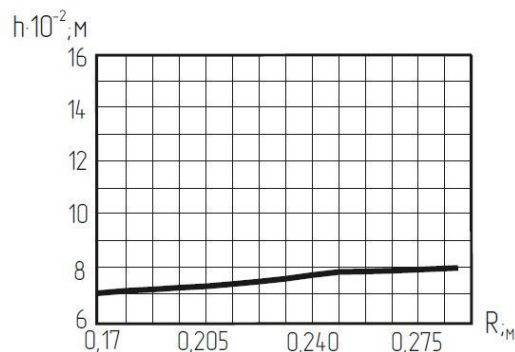


Рис. 2. Вплив радіусу дисків на величину згруджування ґрунту

З рис. 3 видно, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків від 0 до

0,6 згруджування ґрунту на леміші знижується у 2,73 рази, з 0,6 до 1,0 – у 1,25 рази і з 1,0 до 1,2 – у 1,04 рази.

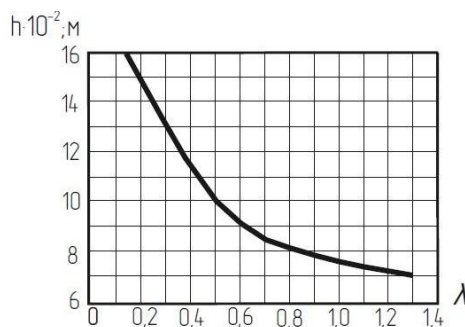


Рис. 3. Вплив кінематичного параметра обертання дисків на величину згруджування ґрунту

З рис. 4 видно, що збільшення кута постановки леміша спочатку призводять до зниження рівня ґрунту на ньому і досягає мінімуму при куті, близькому до 25°.

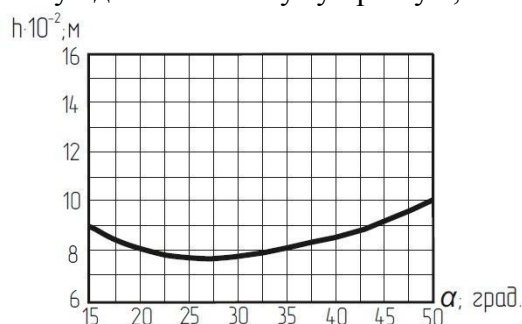


Рис. 4. Вплив кута постановки леміша на величину згруджування ґрунту

Встановлено, що при подальшому збільшенні кута рівень ґрунту на леміші зростає.

Висновок. Відстань між направляючими пасивними дисками, при яких підйом пласта ґрунту лемішем відбувається без заклинювання між ними та в основному визначається вологістю ґрунту і глибиною їх ходу. Аналіз процесу взаємодії плоского диска з ґрунтом, що переміщається за лемішем, показує, що зі збільшенням кінематичного параметра обертання дисків і зі зменшенням їх радіусу умови для переміщення ґрунту за лемішем покращуються.

Література

1. Сиромятников Ю. М., Храмов М. С. Процес підйому ґрунту робочими органами ґрунтообробної розрихлювально-сепаруючої установки. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*. 2021. № 33. С. 86–96.
2. Пашенко В. Ф., Сиромятников Ю. М., Храмов М. С. Ґрунтообробна установка з використанням гнучкого робочого органу для контролю росту бур'янів. *Овочівництво і багатанництво*. 2018. № 64. С. 33–44. DOI: [10.32717/0131-0062-2018-64-33-43](https://doi.org/10.32717/0131-0062-2018-64-33-43).
3. Грушецький С. М., Збаравська Л. Ю., Семенишина І. В., Скоробогатов Д. В. Новий підкопуючий робочий орган для коренебульбозбиральних машин. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*. 2017. № 27. С. 133–140.
4. Храмов М. С., Сиромятников Ю. М. Визначення тягового опору установки для підйому ґрунту в залежності від кута постановки направляючих дисків. *Крамаровські читання : зб. тез доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди 113-ї річниці від дня народження Крамарова В.С.* Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2020. С. 223–225.
5. Грушецький С. М., Яропуд В. М. Моделювання відрізання картопляного вороху лезом леміша. *Вібрації в техніці та технологіях*. Вінниця : ВНАУ, 2020. № 3 (98). С. 85–94.
6. Алієв Е. Б., Теслюк Г. В., Белка О. В., Пацула О. М. Чисельне моделювання процесу роботи ґрунтообробного модуля для передпосівного обробітку ґрунту. *Науково-технічний бюлетень Інституту олійних культур НААН*. 2023. № 34. С. 132–145.
7. Голуб Г., Дворник А. Вплив конструкційно-технологічних параметрів агрегата для смугового обробітку ґрунту на грудкуватість. *Техніко-технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України*. 2020. № 27. С. 89–98.

УДК 621.879.4

РОБОЧИЙ ОРГАН ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ ПЕРЕДНЬОГО КРАЮ

WORKING UNIT OF FRONT TRENCHING MACHINE

Коваль Андрій, Кафтанов Антон

Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010

Інженерні та фортифікаційні споруди є основою живучості особового складу сил оборони. Викопаний окоп для стрільби лежачи зменшує ймовірність ураження особового складу уламками й кульовим вогнем на 50–70% порівняно з відкритою місцевістю [1]. В умовах сучасної війни ситуація на фронті може змінюватись досить швидко, тому варто завжди забезпечувати підрозділи запасними позиціями. Побудова цих споруд, копання окопів – доволі трудомісткий процес, на який витрачається велика частина часу. На озброєнні інженерних військ є машини для риття окопів та котлованів, але вони не можуть бути використані поблизу лінії бойових зіткнень через високий рівень демаскуючих чинників, великі габарити та обмеженість маневреності. Відкриті земляні роботи під ворожим вогнем несуть значні ризики для екіпажу, та можуть призвести до швидкого виявлення та ураження техніки. Тому для закриття цієї потреби пропонується створити землерийну машину переднього краю, яка зможе ефективно виконувати завдання в безпосередній близькості до зони бойових дій.

Однією з розробок спрямованих на вирішення цієї проблеми є запатентований траншейний землерийний комплекс. Передбачається що він буде копати траншею шнековим робочим органом, рухаючись по її дну та викидати ґрунт назовні за допомогою багатоківшевого конвеєра, формуючи бруствер. Передбачається керування як безпосередньо з кабіни так і дистанційне з пульта керування. Пересування по дну забезпечує більшу прихованість машини та захист від ураження уламками, а комплекс димових гранат забезпечує маскування маневру у разі виявлення машини [2]. Пересування траншейного екскаватора по дну траншеї взято за основу концепції землерийної машини переднього краю. Проте використання конвеєрів у якості розвантажувачів ґрунту під сумнівом, тому що він займає великий об'єм простору, у який необхідно вписати машину. Крім того, їхня конструкція може ускладнювати обслуговування в польових умовах та знижувати загальну мобільність системи.

Мета роботи полягає в аналізі особливостей різних робочих органів та пошук потенційно більш перспективних рішень у розрізі використання на землерийній машині переднього краю.

Важливим аспектом є вибір оптимального робочого органу, який забезпечить високу продуктивність за мінімальних енергетичних витрат, а також дозволить ефективно працювати в різних ґрунтових умовах. В роботі представлено загальну концепцію землерийної машини переднього краю (рис. 1) та розглянуто такі варіанти компоновальних схем:

- схема з шнековим робочим органом та лопатевим метальником ґрунту (рис. 2),
- схема з роторним робочим органом та лопатевим метальником ґрунту (рис. 3),
- схема з фрезою поперечного копання та роторним лопатевим метальником (рис. 4) [3].

Спільним недоліком двох перших схем є розвантажувач ґрунту. Щоб забезпечити роботу лопатевого метальника ґрунту, він повинен знаходитись над денною поверхнею траншеї.

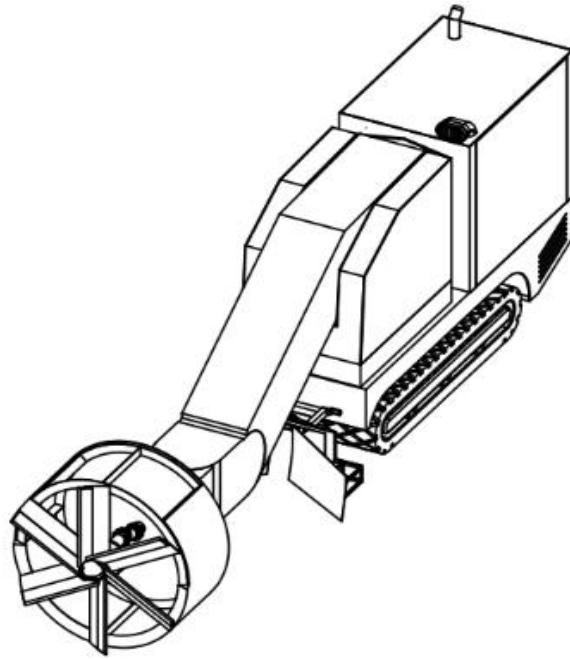


Рис. 1. Землерийна машина переднього краю

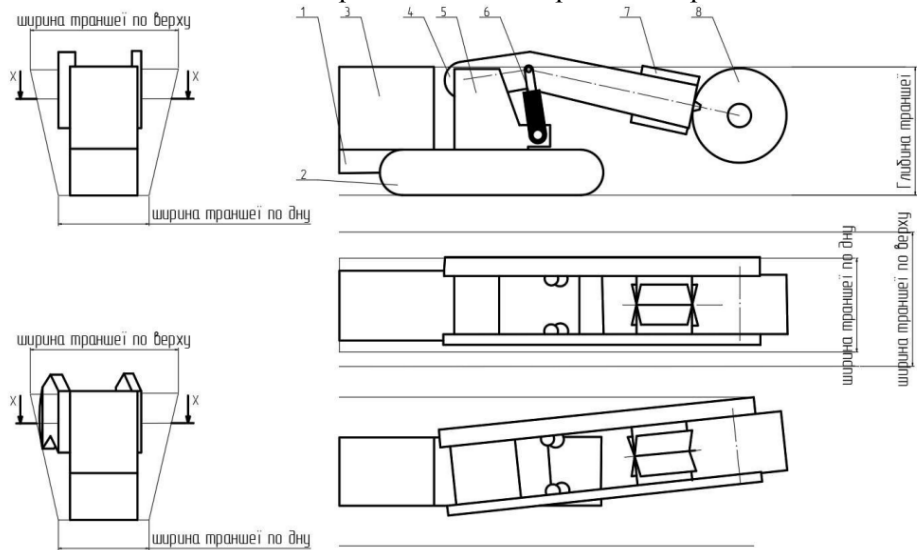


Рис. 2. Компонувальна схема зі шнековим робочим органом [3]

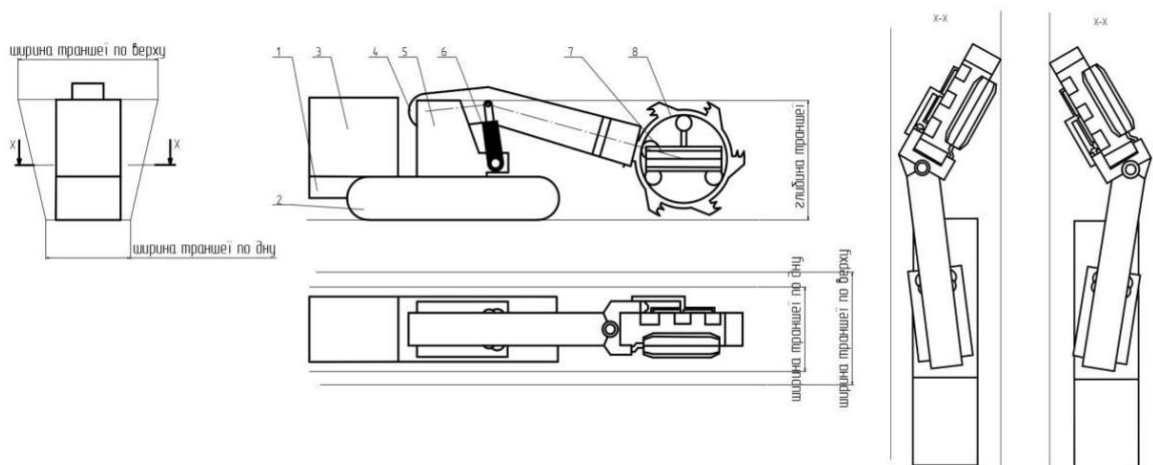


Рис. 3. Компонувальна схема з роторним робочим органом [3]

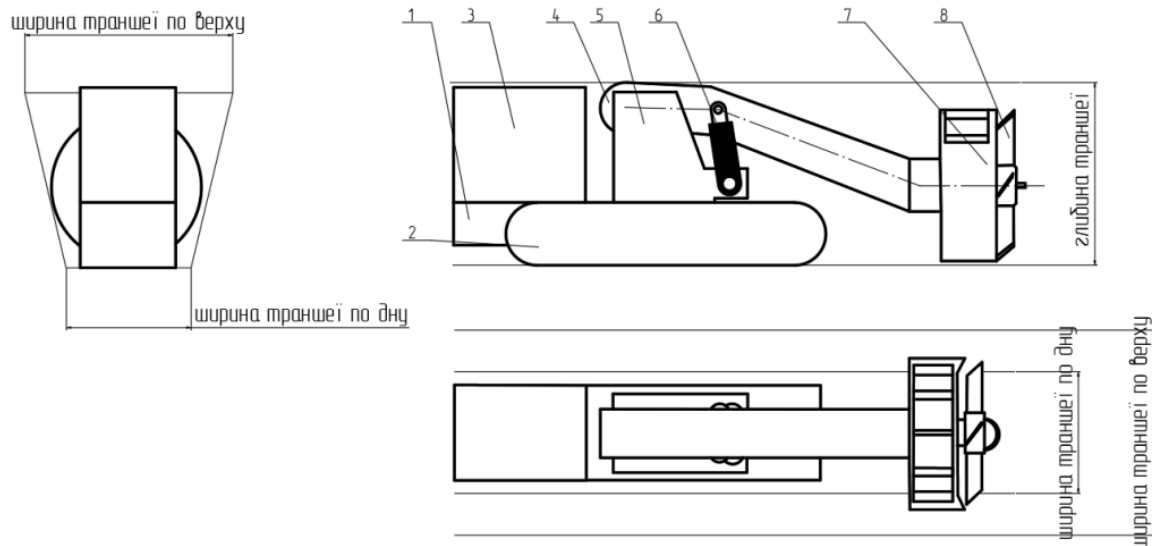


Рис. 4. Компонувальна схема з фрезою поперечного копання [3]

За результатами аналізу схем визначено що найбільш вдалий є варіант з фрезою поперечного копання (рис. 4). Цей робочий орган може забезпечуватись копання повного профілю траншеї та викидання ґрунту за межі траншеї, формуючи бруствер. На відміну від схеми з роторним робочим органом, де для повної розробки профілю траншеї необхідне складне керування механізмом приводу, конструкція фрези поперечного копання є простішою та надійнішою. Це знижує ризик відмови системи в польових умовах і спрощує технічне обслуговування. Крім того, фреза дозволяє працювати з різними типами ґрунтів, включаючи тверді та мерзлі ґрунти. Фреза поперечного копання в загальних випадках використовується для копання котлованів у декілька проходів, тобто в копанні задіяна тільки частина робочої поверхні. Однак у випадку землерийної машини переднього краю передбачається, що вона рухатиметься по дну траншеї, що створює додаткові вимоги до робочого органу. Зокрема, виникає необхідність у розробці конструкції, яка дозволить здійснювати копання траншеї повним профілем фрези в один прохід.

Також розглянуто альтернативний варіант фрезерного робочого органу (рис. 5) [4].

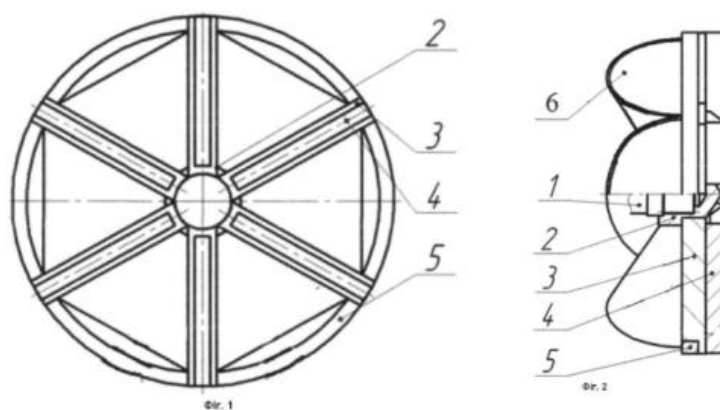


Рис. 5. Ручна землерийна машина [4]

В розглянутій роботі запропоновано робочий орган, який не має окремого розвантажувача ґрунту. Тому, для забезпечення відцентрової сили, яка дозволить викидати ґрунт назовні за запропонованою схемою, доведеться значно підвищувати частоту обертання робочого органу. Аналіз розрахункової схеми (рис. 6) демонструє, що зі збільшенням кутової

швидкості робочого органу за незмінної подачі змінюється кут β повороту ножів, який визначає ефективність заглиблення та зрізання матеріалу. При певних значеннях кутової швидкості цей кут може наблизитися до нуля, що фактично унеможливить процес різання ґрунту.

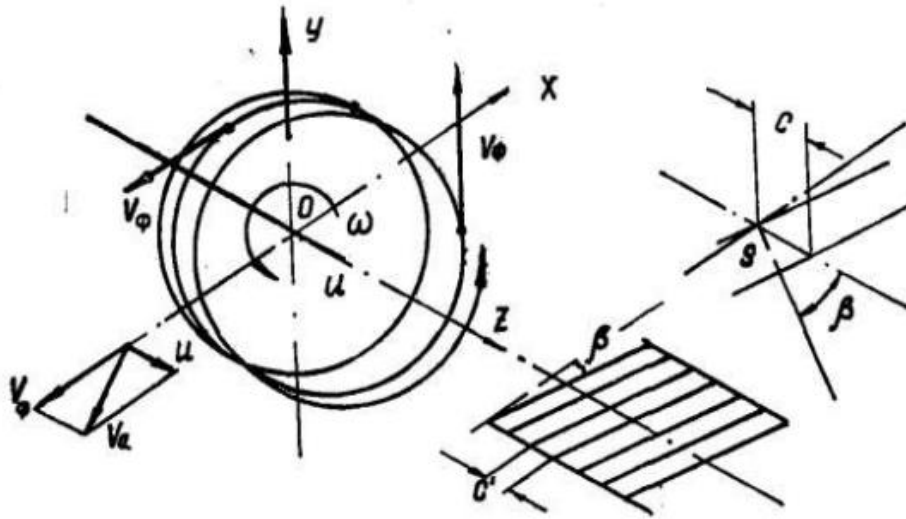


Рис. 6. Кінематичні параметри фрези поперечного копання

У запропонованій схемі передбачається встановлення ножів під кутом 90 градусів до забою. Такий підхід дозволяє забезпечити постійний контакт ріжучого елемента з поверхнею розроблюваного ґрунту, однак має і свої недоліки. Зокрема, розташування ножів під прямим кутом сприяє надмірному подрібненню ґрунту, що значно підвищує енергоємність процесу. Дрібні частинки мають меншу масу, що також може ускладнити ефективне відведення ґрунту за рахунок відцентрової сили, особливо під час роботи у вологих або глинистих ґрунтах.

Висновок. За результатами дослідження визначено пріоритетні напрямки вдосконалення робочого органу для землерийної машини переднього краю.

Одним із ключових напрямків є детальне дослідження взаємодії робочого органу з ґрунтом, що включає аналіз силових характеристик, процесів зрізання, подрібнення та переміщення розробленого матеріалу. Визначення раціональних кутів повороту ножів для різних режимів роботи дозволить досягти оптимального балансу між продуктивністю та витратами енергії.

Також значну увагу необхідно приділити можливості відкопування траншей повним профілем робочого органу, що дозволяє мінімізувати кількість проходів машини та забезпечити швидке облаштування оборонних позицій. Це потребує аналізу зусиль, які виникають у процесі копання, їхнього впливу на конструктивні елементи машини, зокрема ходову частину та систему приводу.

Література

1. Лазарук Ю. В. Підвищення ефективності універсальних землерийних машин удосконаленням конструктивних та кінематичних параметрів : дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2023. 230 с.
2. Траншейний землерийний комплекс: пат. 141519 Україна: № 201910460; заявл. 18.10.2019; опубл. 10.04.2020, Бюл. № 7. 6 с.
3. Кафтанов А. О. Розробка траншейної машини переднього краю : кваліфікаційна магістерська робота / наук. кер. Коваль А. Б. Київ : Національний транспортний університет, 2023. 108 с.
4. Ручна землерийна машина: пат. 132770 Україна: № 201809713; заявл. 28.09.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. 4 с.

УДК 621.3:62-5(043)

ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРУ В КІНЦІ КРИВОЇ РОЗГОНУ НА ЯКІСТЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

IMPACT OF PARAMETER STABILIZATION TIME AT THE END OF THE TRANSIENT
RESPONSE ON THE ACCURACY OF CONTROL SYSTEM IDENTIFICATION

Койфман Олексій¹, Ісаєв Андрій¹, Голотюк Микола²

¹ТОВ «Технічний Університет «Метінвест Політехніка», Україна, 69008, м. Запоріжжя,
Південне шосе, 80

²Національний університет водного господарства та природокористування, Україна, 33028,
м. Рівне, вул. Соборна, 11

This paper examines the impact of parameter stabilization time at the end of the transient response on the accuracy of control system identification. A dataset comprising more than 50 transient response curves of various dynamic systems was analyzed using 15 different identification methods. The study demonstrates that limited stabilization data can result in elevated static errors across all methods, indicating insufficient system dynamics capture. By artificially extending the stabilization phase, the average static error was reduced by 33%, and the coefficient of determination (R^2) increased by 1.5%. These results emphasize the importance of including an adequate duration of parameter stabilization in the identification process to enhance model accuracy, while avoiding excessive data that may introduce noise. Future work will focus on evaluating how stabilization time affects the tuning performance of control algorithms.

Одним з ключових етапів у процесі ідентифікації об'єктів керування є фіксація їхньої реакції на типові збурення, зокрема, на одиничний ступінчастий вплив. Отримана в результаті такого експерименту крива розгону містить важливу інформацію про динамічні характеристики системи – інерційність, запізнення, стабільність тощо. Саме від точності та повноти цієї кривої значною мірою залежить якість побудованої математичної моделі, яка в подальшому використовується для синтезу системи автоматичного керування. Недостатньо тривала або некоректно зафіксована крива розгону може призвести до спотворення параметрів моделі та погіршення роботи регуляторів. Традиційно при «знятті» значень кривої розгону вважається, що реакція об'єкта на ступінчастий вплив стабілізується, якщо значення технологічного параметра три рази повторюється. Тому важливо дослідити, які саме характеристики кривої розгону, зокрема, її тривалість на етапі стабілізації, мають вирішальне значення для точності ідентифікації.

При виконанні дослідження [1] було проаналізовано набір з більш чим 50 кривими розгону різних об'єктів керування з використанням 15 методів ідентифікації їх параметрів. Автори звернули увагу, що при обробці деяких кривих розгону всіма методами ідентифікації, які використовувались в дослідженні, значення статичної похибки ERR1 було значно більше ніж середньостатистичне значення – тобто ні один метод не давав гарних результатів. Приклад такого випадку наведено на рис. 1.

Візуальна оцінка результатів моделювання реакції об'єкту керування (рис. 1) показує про необхідність продовження моделювання. Для дослідження цієї проблеми до значень вихідної кривої розгону було додано ряд значень, які дорівнюють останньому. Як видно з графіків (рис. 2) відбувається значне зменшення статичної похибки ERR2 за результатами моделювання продовження кривої розгону.

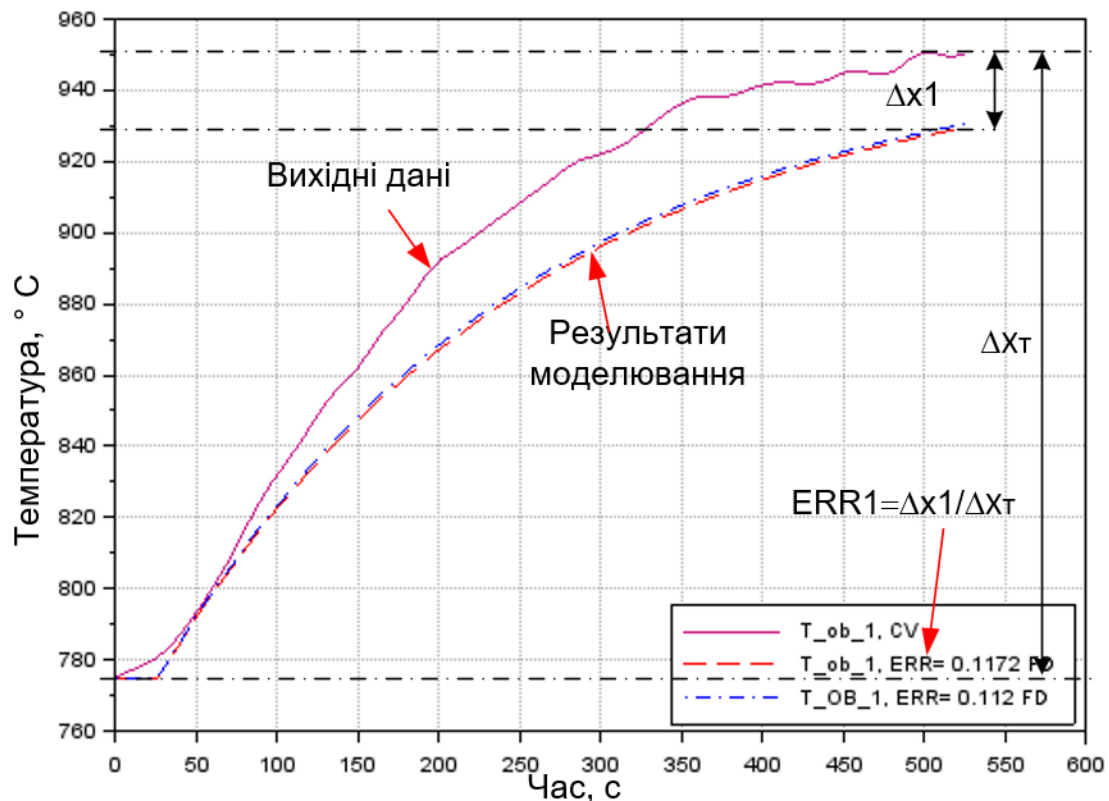


Рис. 1. Результати моделювання об'єкту керування

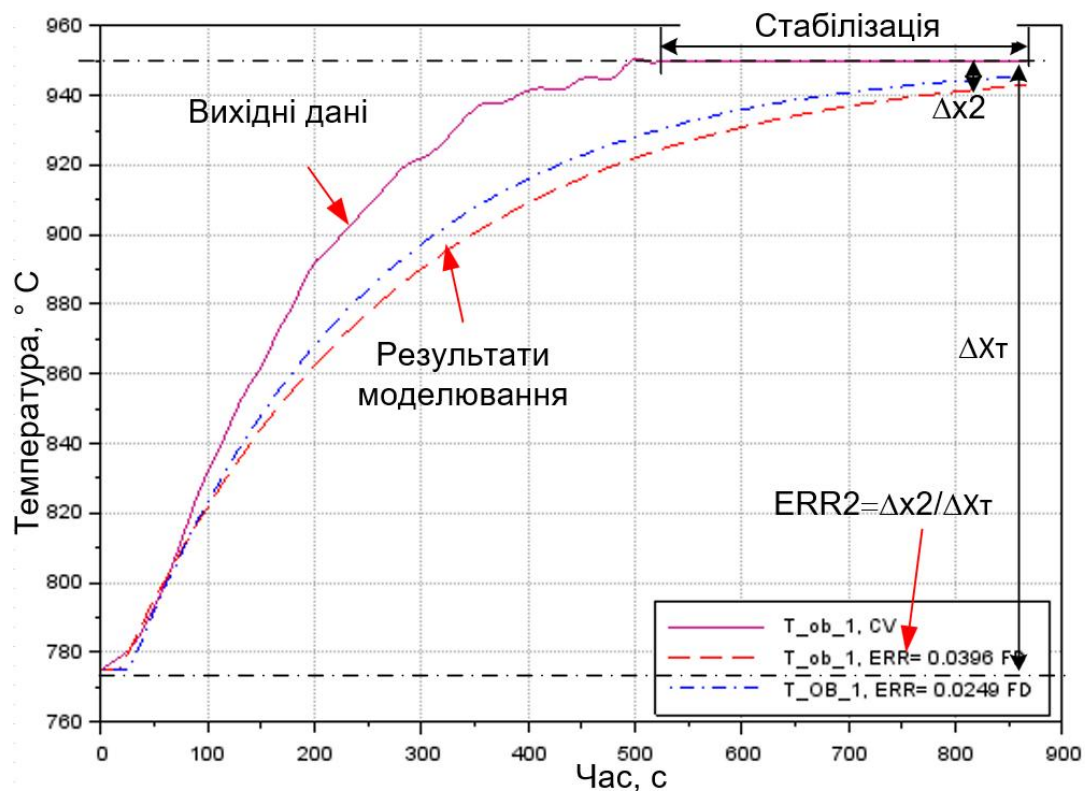


Рис. 2. Результати моделювання об'єкту керування при штучно подовженій вихідній кривій розгону

Такий експеримент було проведено для всієї вибірки кривих розгону дослідження [1] та було ідентифіковано параметри об'єкту керування усіма зазначеними методами. Порівняння отриманих результатів (рис. 3) показує, що в середньому по результатам моделювання значення статичної похибки ERR зменшилось на 33% та значення коефіцієнту детермінації R2 збільшилось на 1,5%. Якщо розглядати кожен метод окремо, то, наприклад вплив

подовження кривої розгону на результати моделювання для методу 40 відсутній. З іншого боку наявний суттєвий валив на методи 70, 71, 80 та 81, які базуються на нелінійній апроксимації значень вихідної кривої розгону.

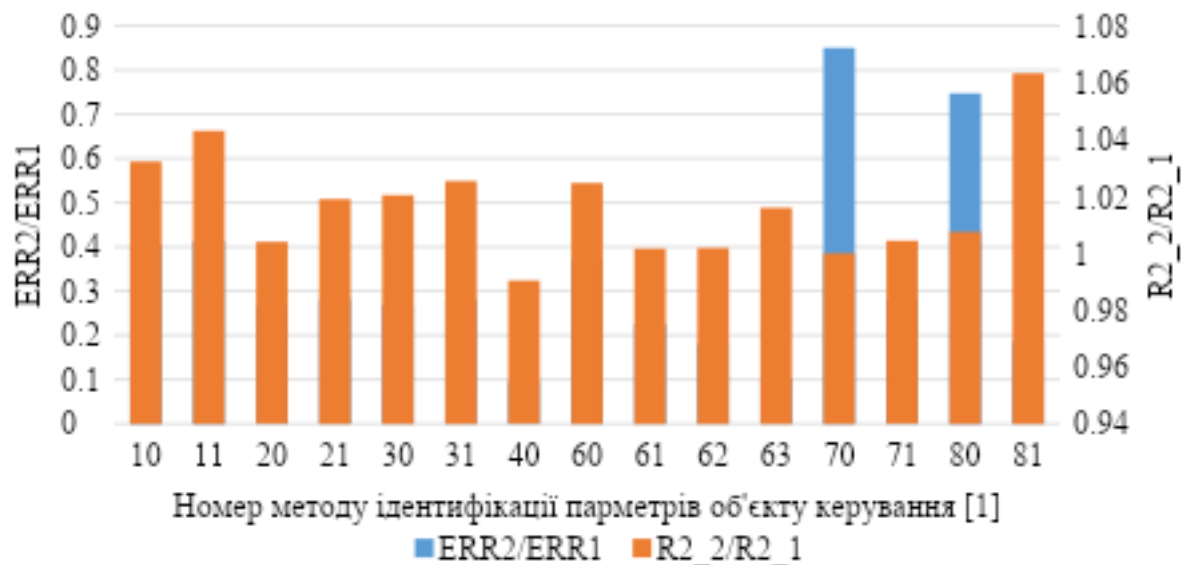


Рис. 3. Порівняння результатів моделювання

Результати дослідження наявно відображають, що тривалість стабілізації значення параметра при реакції об'єкта керування на ступінчасте збурення впливає на результати ідентифікації параметрів цього об'єкта. Необхідно отримувати більше значень кривої розгону в період стабілізації значення. Наразі складно відповісти, скільки конкретно значень «знімати» при стабілізації параметру: при надмірно короткій реакції об'єкту модель може не відображає інерційність системи; водночас надто довгий перехідний процес призводить до зростання похибки моделі внаслідок накопичення зайвої інформації. Наприклад, необхідно ввести критерій, за яким значення має коливатись в межах визначеного відсотку від ΔX_t .

Наступним кроком необхідно дослідити вплив тривалість стабілізації реакції об'єкту на налаштування регулятора відповідної системи керування.

Література

1. Koyfman O. O., Miroshnychenko V. I., & Simkin O. I. Analytical study of methods of identification of control object. MININGMETALTECH 2023. *The mining and metals sector: integration of business, technology and education* : Scientific monograph. Riga, Latvia : «Baltija Publishing», 2023. P. 113–147. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-382-8-7>

УДК 621.833.6

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЛАНЕТАРНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ В ПРИВОДІ ХОДУ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН

IMPROVING THE RELIABILITY OF PLANETARY GEAR TRANSMISSIONS IN THE DRIVE OF ROAD CONSTRUCTION MACHINES

Левківський Сергій, Ніколаєнко Володимир

Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010

Abstract. The methodology for experimental study of the load in the gears of planetary gearboxes of the drive of road construction machines is presented. The need to conduct a load study is caused by the need to create structures that would have less material consumption and greater reliability. This is possible only if there is a sufficient amount of data on the real processes of load formation in the gears.

В трансмісіях сучасних дорожніх машин знайшли широке застосування планетарні передачі. Найбільший інтерес, з точки зору аналізу факторів, що впливають на довголіття планетарних передач, становлять ті редуктори, які передають навантаження протягом всього терміну експлуатації машини. Такою складовою трансмісії є кінцеві планетарні редуктори, які відносяться до багатопотокових. Надійність їх роботи залежить від розподілу навантаження між окремими силовими потоками. Редуктор в кожен момент часу сприймає зовнішнє навантаження. Проте, через помилки виготовлення деталей та їх складання, однойменні деталі в різних потоках будуть сприймати різне навантаження. Для вирівнювання навантаження між сателітами в планетарних редукторах одне з центральних зубчастих коліс встановлюють на зубчастій муфті. Також використовують компенсуючі можливості сферичних підшипників, встановлюючи на них сателіти. Результати експериментальних досліджень редукторів вказують на те, що через інерційність, ефективність використання таких засобів обмежена величиною кутової швидкості. Такі обмеження мають всі засоби вирівнювання, принцип дії яких ґрунтується на тому, щоб позбутися статичної неозначеності планетарного механізму шляхом надання одній з його ланок додаткового ступеня вільності. Подальший розвиток методів проектування планетарних редукторів здійснюється з метою створення конструкцій, які б мали меншу матеріаломісткість та більшу надійність. Розробити такі методики можливе тільки у випадку наявності достатнього обсягу даних про реальні процеси формування навантаження в зубчастих зачепленнях. Така інформація може бути отримана тільки за результатами експериментального дослідження.

Існує декілька методик дослідження планетарних редукторів за допомогою методів тензометрії, які головним чином відрізняються одна від одної місцем розташування тензодатчиків. Вибір деталі, на яку наклеюють датчики, з одного боку визначає технічну складність реалізації експерименту, а з іншого – якість та повноту отриманої інформації. Найбільш простим експеримент буде у випадку, коли датчики розміщують на нерухомій деталі. Тоді не має потреби у використанні струмознімального обладнання. В більшості випадків такою деталлю є центральне колесо «b» з внутрішніми зубцями. Така методика передбачає розміщення тензорезисторів на обох торцях зубців. Проте, через необхідність використання датчиків з малою базою, експеримент значно ускладнюється. Це пов'язане з необхідністю виконання значного обсягу підготовчих операцій, а також низькою стабільністю роботи мікродротяних тензодатчиків. Точну інформацію про величини сил, які діють в зачепленнях центрального колеса «a» з сателітами «g», можна отримати, якщо розташувати датчики безпосередньо в зоні деформацій. Таким місцем є ніжки зубців

центрального колеса «а». Проте, реалізація такої методики утруднена через те, що центральне колесо «а» обертається з великою кутовою швидкістю і внаслідок цього виникає технічна проблема в передаванні електричного сигналу від тензорезисторів до підсилювача. Значно менше недоліків має спосіб розміщення датчиків на вісях сателітів. Він дозволяє безперервно фіксувати значення навантажень в усіх зачепленнях сателітів з центральним колесом «а». Водило планетарного редуктора має на багато меншу, порівняно з зубчастим колесом «а», кутову швидкість, з огляду на це, проблема знімання електричного сигналу не постає.

Напруження, що виникають в зубцях коліс планетарного редуктора обумовлені дією двох силових факторів. Це нерівномірність розподілу навантаження між сателітами та його концентрація по довжині зубців. Внаслідок цього, було б доцільним під час проведення експерименту мати можливість отримувати значення обох цих параметрів. З цією метою була розроблена спеціальна методика такого дослідження [1; 3]. Метою такого дослідження є встановлення експериментальним шляхом взаємозв'язку між нерівномірністю розподілу навантаження серед сателітів та по довжині зубців в зачепленнях планетарного редуктора.

Лабораторні випробовування проводились методом тензометрування вісей сателітів. Тензорезистори наклеювались на кожну вісь. Для цього з обох боків вісей були зроблені спеціальні лиски. Для того, щоб разом з нерівномірністю розподілу навантаження проміж сателітів, отримувати інформацію про характер його концентрації по довжині зубців, рівномірно вздовж кожної вісі було наклеєно по п'ять пар тензодатчиків 2ПКБ-5х100 з базою 5 мм та електричним опором 100 Ом. При встановленні вісей у щоби водила вони були орієнтовані так, щоб датчики сприймали деформації згину, викликані дією колових сил у зачепленнях редуктора. Електричні кабелі виводились через отвір у вихідному кінці водила. Така схема розташування датчиків давала змогу безперервно протягом кінематичного циклу отримувати інформацію про характер навантаження зачеплень. Показання тензорезисторів однієї вісі записувалися протягом одного кінематичного циклу, який приблизно дорівнював шести обертам водила. Початок та кінець запису визначався за допомогою лічильника обертів водила. Водночас здійснювався запис значень крутного моменту на вихідному валу редуктора. Для цього на водилі був наклеєний тензодатчик типу ФКТБ. Тарування каналів підсилювача здійснювалася за допомогою балки рівного опору. Масштабні коефіцієнти для відповідних каналів мали такі значення: $\kappa_1 = 1,81$; $\kappa_2 = 1,41$; $\kappa_3 = 1,12$; $\kappa_4 = \kappa_5 = 1$. Для того, щоб через показання датчиків можливо було б отримати справжні значення сил, які діють в зачепленнях редуктора під час його роботи, проводилось тарування тензорезисторів у статистиці. Для цього в редукторі залишали один сателіт, встановлений на тензометричній вісі, а замість двох інших використовували ролики з метою центрування зачеплення. Навантаження редуктора здійснювали важелями, що мали форму секторних блоків і через які були перекинуті канати з гирями. Тарування тензодатчиків проводили при наступних значеннях крутного моменту на вихідному валу: 63,7 Н·м; 113,7 Н·м; 163,7 Н·м; 213,7 Н·м. На підставі отриманих даних для кожної вісі будувався тарувальний графік.

Випробовування планетарного редуктора відбувалися на стенді, який складався з редуктора, привод якого здійснювався від двошвидкісного електродвигуна типу АО2-62-8/4 через пасову передачу. Навантаження створювалось порошковим гальмом марки ПГ-100М. На вільному кінці гальма було встановлено струмознімальне обладнання РАТ 2, а за ним лічильник обертів. Для реєстрації вимірювальних параметрів застосовувалися підсилювач сигналу 8АНЧ-7М та осцилограф Н-115.

В якості об'єкта дослідження був прийнятий одноступеневий планетарний редуктор. Вхідний вал був встановлений на радіальних підшипниках у кришці корпусу. Центральне колесо з зовнішніми зубцями знаходилося у зачепленні з трьома сателітами, опорами яких були радіальні підшипники. Центральне колесо з внутрішніми зубцями було нерухомо закріплено в корпусі. Вихідним валом редуктора було водило, в якому закріплені вісі сателітів. Кількість зубців: центральне колесо з зовнішніми зубцями «а» $Z_a = 21$; сателіти

«g» $Z_g = 45$; центральне колесо з внутрішніми зубцями «b» $Z_b = 111$. Модуль зачеплення $m = 5$ мм, ступінь точності виготовлення – Ст. 9-8-7-B. Центральне колесо «a» було виготовлене зі сталі 40 ХН2МА з послідовним азотуванням до твердості HRC 52-56, сателіти – зі сталі 40 Х, термооброблені та азотовані. Для виготовлення центрального колеса «b» була застосована сталь 45 поліпшена. Корпус та водило були відлиті з чавуну СЧ 15-32 та ВЧ 60-2 відповідно.

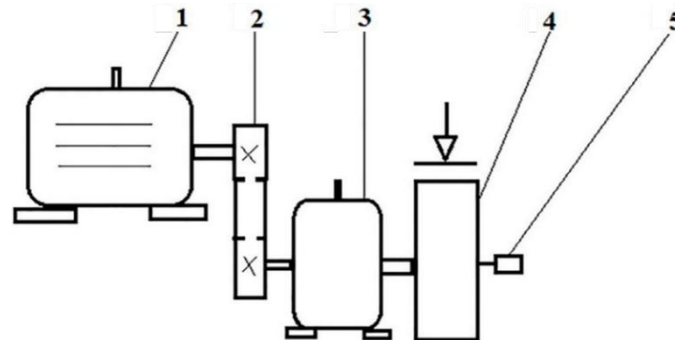


Рисунок. Стенд для випробування планетарного редуктора: 1 – електродвигун; 2 – пасова передача; 3 – планетарний редуктор; 4 – порошкове гальмо; 5 – струмознімач

Результати експериментального дослідження були отримані у вигляді осцилограм п'яти тензорезисторів кожної вісі сателітів. Крива показань n -го датчика j -ої вісі розподілялась на шість частин протягом одного оберту водила, тобто на $I = 36$ частин на протязі всього запису. Для обробки отриманих даних був розроблений алгоритм, який було реалізовано у вигляді комп'ютерної програми. Спочатку визначалось «П» середнє значення показань усіх датчиків на всіх вісях. Ця величина дорівнювала показанням датчиків за умови рівномірного розподілу навантаження проміж сателітів.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^3 \sum_{n=1}^5 \sum_{i=1}^{36} P_{jni}}{3 \cdot 5 \cdot 36}, \quad (1)$$

де $j = 3$ – кількість сателітів;

$n = 5$ – кількість тензорезисторів на одній вісі;

$i = 36$ – кількість вимірювань протягом одного кінематичного циклу (кількість положень водила).

Потім знаходилося середнє арифметичне показань п'яти датчиків кожної вісі окремо в кожному з 36 положень водила.

$$P_{jni}^n = \frac{\sum_{n=1}^5 P_{jni}}{5}. \quad (2)$$

Величину нерівномірності розподілу навантаження для кожного сателіта в усіх положеннях водила можна визначити як відношення:

$$\Omega_{ij} = \frac{P_{jni}^n}{P}. \quad (3)$$

З метою визначення концентрації навантаження по довжині зубців, на кожен вісь було наклеєно по п'ять пар тензодатчиків на рівній відстані одна від одної. Це дозволило за допомогою математичної обробки отриманих даних визначити для кожного зачеплення сателітів з центральним колесом «a» протягом кінематичного циклу значення концентрації навантаження. Її величина розраховувалась через відношення показань четвертого резистора до середнього значення концентрації в даному зачепленні в i -му положенні водила.

$$K_{h\beta ij} = \frac{\Sigma I_{i4j}}{\Pi_{i4j} + \Pi_{i2j}} \quad (4)$$

Результати експериментального дослідження вказують на те, що найбільш навантаженим в цьому редукторі був сателіт під номером $j = 3$. Максимальне значення нерівномірності розподілу навантаження для цього сателіту спостерігалось в положенні водила $i = 12$ і дорівнювало $\Omega_{\max} = 1.476$. В цьому ж положенні концентрація навантаження по довжині зубців дорівнювала $K_{h\beta} = 1.431$. Максимальне значення концентрації навантаження по довжині контактних ліній $K_{h\beta} = 1.839$ було зафіксоване в положенні водила $i = 25$. Відповідно величина нерівномірності між сателітами в цьому положенні водила складала $\Omega_{\max} = 1.249$.

Найменш навантаженим під час цього дослідження був сателіт $j = 4$. Максимальне значення нерівномірності навантаження для цього сателіту становило $\Omega_{\max} = 0.669$ в положенні водила $i = 6$. Відповідна концентрація в цьому положенні складала $K_{h\beta} = 1.689$. Найбільша величина концентрації навантаження по довжині контактних ліній для цього сателіту $K_{h\beta} = 2.0$ спостерігалась в положенні водила $i = 33$. В цьому ж положенні нерівномірність розподілу проміж сателітів становила $\Omega = 0.749$.

Розробники силових передач автомобілів та тракторів застосовують різні конструктивні схеми планетарних редукторів кінцевих передач. Тому певний інтерес становить з'ясування впливу конструкції редуктора на розподіл навантаження між сателітами. З цією метою проводилися експериментальні дослідження трьох конструктивних варіантів комплектації одного й того ж редуктора: з радіальними, сферичними підшипниками сателітів або центральне колесо «а» встановлено на зубчастій муфті.

Випробування проводилися при значенні крутного моменту на виході редуктора $T = 500 \text{ Н}\cdot\text{м}$ та кутової швидкості на вході – $\omega_a = 157 \text{ с}^{-1}$.

Таблиця

Найбільші значення нерівномірності розподілу навантаження між сателітами при різних конструктивних схемах редуктору

Конструктивна схема редуктору	$\Omega_{\max}$
Опори сателітів сферичні	1,50
Опори сателітів радіальні	1,476
Центральне колесо «а» встановлено на зубчастій муфті, підшипники сателітів – радіальні	1,348

На підставі аналізу даних, що наведені в таблиці, можливо зробити висновок, що розглянуті конструктивні виконання одного й того ж типорозміру планетарного редуктору, суттєво не впливають на нерівномірність розподілу навантаження між сателітами. Лише при встановленні центрального зубчастого колеса «а» на зубчастій муфті спостерігається незначне зменшення нерівномірності навантаження.

Література

1. Тютін В. М., Левківський С. А. Експериментальні дослідження одноступеневого планетарного редуктора. *Вісник Національного транспортного університету*. К. : НТУ, 2011. Вип. 24. ч. 1. С. 135–139.
2. Варфоломєєв Ю. М., Мороз В. В., Левківський С. А. Динамічна модель планетарних передач приводів дорожніх машин для розрахунку вимушених коливань. *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. К. : НТУ, 2023. Вип. 114. Ч. 1. С. 151–159.
3. Левківський С. А. Експериментальні дослідження одноступеневого планетарного редуктора механізму повороту гусеничних машин. *LXXIX Наукова-практична конференція науково-педагогічних працівників, аспірантів, студентів та структурних підрозділів університету*. К. : НТУ, 2023. С. 23.

УДК 631.3.631

ВИБІР ПРОТОТИПУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ВИСОКОЇ ПРОХІДНОСТІ

SELECTION OF A PROTOTYPE FOR THE CREATION OF A ROBOTIC PLATFORM OF HIGH CROSS-COUNTRY ABILITY

Мартинюк Віктор, Морозюк Богдан

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк

In modern conditions, Ukraine needs to create domestic robots and robotic systems that can replace people in performing important tasks, in particular those related to territory clearing, transportation, etc. Such robots should have high maneuverability and cross-country ability in hard-to-reach places, on soils with obstacles. In their study, the authors analyzed the known designs of robotic platforms in order to identify areas for their improvement.

У сучасних умовах Україна потребує створення вітчизняних робототів і роботизованих комплексів, які зможуть замінити людей під час виконання відповідальних завдань, зокрема пов'язаних із розчищенням територій, перевезеннями, тощо. Такі роботи повинні мати високу маневреність і прохідність у важкодоступних місцях, на ґрунтах із перешкодами. У своєму дослідженні автори проаналізували відомі конструкції роботизованих платформ з метою виявлення напрямків їхнього удосконалення.

В останні десятиліття підвищення ефективності та зростання продуктивності праці в багатьох галузях здійснюється за допомогою механізації та автоматизації виробничих процесів з виконанням трудомістких, монотонних або шкідливих для здоров'я працівників операцій. Розвиток в рамках сучасної парадигми 4,0 промисловості в Україні потребує розроблення й запровадження нових способів збільшення показників зростання та ефективності виробництва. Одним з перспективних є роботизація [1; 2; 3; 4].

Для України на даний час дуже важливою задачею є створення таких автоматизованих робототехнічних систем, які здатні здійснювати самостійні переміщення виконуючи задані роботи. Використання роботів частково дозволить вирішити проблему з браком робочої сили, а також провести ряд робіт у небезпечних, важкодоступних місцях.

Основою створення рухомих роботів може стати робототехнічна платформа, яку можна оснащувати різними робочими органами, залежно від потреб.

Провівши аналіз відомих досліджень [6; 7; 8] ми виділили найбільш розповсюджені конструкції платформ мобільних роботів.

Найчастіше основою для створення роботів є колісна платформа. Застосування колісної платформи дає можливість створювати мобільні роботи, які характеризуються високою маневровою здатністю, порівняною простотою виконання. Але дані платформи мають не високу тягову здатність, що пояснюється значним зменшенням швидкості пересування за умови руху по нерівних поверхнях.

Гусеничні платформи забезпечують задовільне зчеплення та стабільність на нерівних або м'яких ґрунтах, що робить їх ідеальними для складних рельєфних умов. Однак, роботи із гусеничною ходовою системою характеризуються підвищеним енергоспоживанням. Крім того дані роботи вимагають більш частого й тривалого процесу обслуговування через механічну складність і зношування елементів гусениць [9]. Гусеничні роботизовані платформи можна застосовувати, де їхня надійність та прохідність є критично важливими [6].

Робот із ногами має найкращі характеристики подолання перешкод та маневреність на пересіченій місцевості, але швидкість його руху низька.

Колісно-ніжний мобільний механізм поєднує в собі характеристики колісного типу та ножного механізму, демонструючи хорошу мобільність та здатність долати перешкоди [10; 11], при цьому споживання енергії відносно низьке. Тому роботи на основі колісно-ножного механізму пересування мають високу наукову значущість і привертають увагу вітчизняних та зарубіжних вчених [10; 11]. Дані роботи відомі як реконфігурований колісний мобільний робот (RWMR).

З урахуванням того, що була поставлена задача розробити роботизовану платформу, яка може здійснювати неструктурований рух по складному рельєфу, тобто мати можливість продовжувати рух по місцевості після зустрічі з перешкодами, дана модель була взята за прототип.

Щоб досягти вищезазначених цілей, нами сформовано концепцію розроблення конструкції робота.

Модель руху роботизованої платформи сформульована на основі кінематичної схеми, запропонованої в [11]. Кінематичний аналіз дозволив сформулювати можливі траєкторії руху, які робот може використовувати для виконання складних рухів по нерівним рельєфам місцевості. З цією метою запропоновано встановлення додаткових датчиків руху на основі технічного зору.

Запропоновано також додатково встановити обладнання для планування траєкторій руху, яке буде плавно перемикає роботу між режимами мобільності, повністю використовуючи переваги мобільності платформи для проходження неструктурованої місцевості. Крім того, рух буде обмежуватись максимальними параметрами, що необхідно для забезпечення стійкості моделі.

Література

1. Голотюк, М. В. Розвиток роботомеханічних систем в машинобудуванні. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2018. Вип. 192. С. 248–255.
2. Бурлака С. А. Актуальність застосування робототехніки в промисловості та машинобудуванні. *Молода наука – роботизація і нано-технології сучасного машинобудування* : зб. наук. праць Міжнародної молодіжної науково-технічної конференції. Краматорськ, 2019. С. 60–64.
3. Хлинін Антон Андрійович, Дербабі Віталій Анатолійович. Новітні технології робототехніки в машинобудуванні. НТУ «Дніпровська політехніка», 2023. С. 135–137.
4. Долиненко В. В., Шаповалов Є. В., Коляда В. О., Скуба Т. Г. Адаптивна робототехнічна система електродугового наплавлення для відновлення деталей складних просторових форм. *Електронне моделювання*. 2020. № 6, Т. 42. С. 56–71. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/elmo_2020_42_6_6 (дата звернення: 01.04.2025).
5. Кириченко І. Наземні роботизовані комплекси: основи та майбутнє. *Молодий вчений*. 2021. Вип. 12 (100). С. 16–20. DOI: 10.32839/2304-5809/2021-12-100-4.
6. Робототехнічний комплекс. URL: <https://dev.ua/news/u-rivnomu-rozroblyly-nazemni-drony-dlia-evakuatsiiiporanenykh-z-kameramy-ta-na-dystantsiinomu-keruvanni-1709036744> (дата звернення: 01.04.2025).
7. Янушкевич Д., Іванов Л. Роботизовані засоби спеціального призначення: аналіз міжнародних нормативних документів. *Виробництво & Мехатронні Системи* : матеріали V-ї Міжнародної конференції, Харків, 21–22 жовтня 2021 р. Харків : ХНУРЕ, [електронний друк]. 2021. С. 176–179.
8. Bruzzone Luca & Nodehi Shahab & Fanghella Pietro. *Tracked Locomotion Systems for Ground Mobile Robots: A Review. Machines*. 2022. Vol. 10. P. 648. 10.3390/machines10080648.
9. M. K. Qu, H. B. Wang, Y. Rong. Design of military wheel-leg hybrid quadruped robot Jixie Gongcheng Xuebao. *Journal of Mechanical Engineering*. 2018. Vol. 39 (4). Pp. 787–797.
10. C. Y. Zhang, S. Guo, F. Q. Zhao. Motion analysis and gait research of a new type of wheel-leg composite robot. *J Mech Eng*. 2019. Vol. 55 (15). Pp. 145–153.
11. A. Kelly and N. Seegmiller. Recursive kinematic propagation for wheeled mobile robots. *Int. J. Robot. Res.* 2015. Vol. 34, No. 3. Pp. 288–313. <https://doi.org/10.1177/0278364914551773>

УДК 629.113.012.4

ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ПАЛЬЦЯ ГУСЕНИЧНОГО ШАРНІРА В РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

TO DETERMINE THE DIAMETER OF THE TRACK JOINT PIN IN OPERATING MODE

Марчук Роман, Марчук Назар, Кирилюк Назар

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

При проектуванні автомобільних транспортних засобів, машин і механізмів на гусеничному ході задля забезпечення високої мобільності і водночас низьких затрат енергії під час руху, а також тривалої безвідмовної роботоздатності елементів такої ходової частини необхідно враховувати комплекс вимог щодо експлуатації гусеничних шарнірів [1].

На сьогодні ходова частина гусеничного компонування має безальтернативні переваги над колісними прототипами, коли ставиться вимога дотримання всюдихідності та забезпечення усталеного руху з врахуванням складних дорожніх, транспортних та кліматичних умов [2].

Вдосконаленість гусеничного шарніра визначається як зносостійкістю так і втратами потужності в ньому, що обумовлюється швидкістю відносного складування траків силами, які розтягують шарнір і сумарним коефіцієнтом тертя в системі «трак-палець-трак». Тому актуальним науковим завданням є розробка системи перевірочних розрахунків задля відповідного вибору конструкційних особливостей гусеничного шарніра з метою підвищення довговічності і зниження втрат на тертя в ньому. Для цього необхідно знати особливості роботи і переваги тої чи іншої його конструкції.

За характером роботи шарніри гусениць поділяються на відкриті і закриті (тобто захищені), які в свою чергу діляться на відкриті з опущеними, відносно опорної поверхні, шарнірами і відкриті або закриті припідняті, відносно опорної поверхні [3].

Особливістю роботи відкритого гусеничного шарніра є те, що тертя кочення з'являється тільки на самому початку повороту одного трака відносно іншого, а потім вони швидко переходять в змішане тертя кочення і ковзання, яке може сприяти повороту траків на деякий кут. Змішане тертя в свою чергу переходить в тертя повного ковзання.

Продуктивність змішаного тертя залежить від величини зазору між пальцем і провусинами, від способу закріплення пальця, кількості і якості частинок ґрунту, що потрапили в шарнір, степені зношування шарніра і інших факторів. Однак, вплив цього тертя на зношування шарніра набагато менший, ніж тертя повного ковзання, яке являється основним видом тертя відкритого шарніра гусениць.

Отже, тертя супроводжується зносом, тобто процесом поступового руйнування тертьових поверхонь під впливом механічних і хімічних процесів, що в свою чергу призводить до втрати задовільної роботи гусеничного обводу і міцності шарнірних з'єднань.

Як показали дослідження, інтенсивність зношування пальців шарнірів гусеничної техніки перевищує інтенсивність зношування провусин, тому в реальних умовах експлуатації доводиться змінювати пальці два-чотири рази.

Отриманий вираз (1) дозволяє на стадії проектування визначити початковий діаметр d_{no} , з урахуванням інтенсивності зношування системи «трак-палець-трак»:

$$d_{no} = \sqrt[3]{\frac{M_{32}}{0,1 \cdot [\sigma_{32}]}} + \frac{K \cdot l_0}{2 \cdot (1+m)}, \quad (1)$$

де $M_{зз}$ – згинаючий момент пальця, Нм; $[\sigma_{зз}]$ – границя міцності згинання пальця шарніра, Н/м²;

K – коефіцієнт допустимого видовження кроку гусениці; l_0 – початкове видовження кроку гусениці, м;

m – відношення зношування провущин і пальців; d_1 – діаметр зношеного пальця, м.

Виходячи з умов міцності (1) шарнірного з'єднання і залежності моменту згину пальця від кількості провущин для, шляхом перебудови, була отримана залежність діаметра зношеного пальця d від кількості провущин n , яка наведена на рисунку.

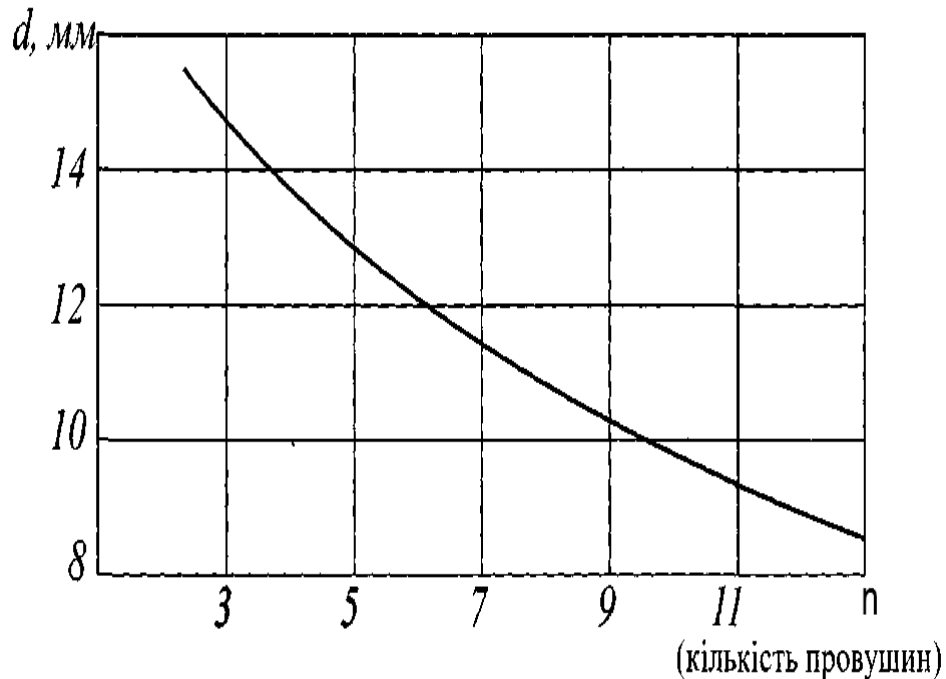


Рисунок. Залежність діаметра пальця від кількості провущин для $l_0=0,39$ м

Значення діаметра зношеного пальця являються граничними, виходячи з умови забезпечення задовільної роботи зачеплення гусениці з ведучим колесом трактора і міцності пальця.

Найбільша інтенсивність зношування пальця і провущин буде на супісочному ґрунті.

Література

1. Кубіч В. І. Ходова частина гусеничних машин : навч. посіб. Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2019. 247 с.
2. Зінько Р. В. Напрями підвищення ефективності роботи гусеничних рушіїв. *Вісник Дніпропетровського державного аграрного університету*. 2012. № 2. С. 99–104.
3. Колодійчук С. А. Підвищення роботи гусеничного рушія сільськогосподарських тракторів : дис. ... канд. техн. наук. К. : НТУ, 2007. 236 с.

УДК 621.879.4

БЕЗКІВШЕВИЙ РОТОРНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН УНІВЕРСАЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ

BUCKETLESS ROTARY OPERATING ELEMENT OF A UNIVERSAL EARTHMOVING
CONTINUOUS DIGGING MACHINE

Мусійко Володимир, Коваль Андрій, Пасенко Юрій

Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, м. Київ, 01010

Значну долю земляних робіт в Україні виконують екскаватори безперервної дії, в тому числі – траншейні машини. Характерною особливістю цих машин є їх вузька спеціалізація, завдяки чому практично кожна машина даного призначення, за деякими виключенням, призначена для відкопування траншей тільки визначеної ширини.

На цей час, коли об'єми земляних робіт, що виконуються під час спорудження траншей різного технологічного призначення, збільшуються підвищення продуктивності та універсальності робочих органів траншейних екскаваторів вкрай необхідне для створення насамперед машин військово-інженерного призначення.

Виконані нами дослідження показали перспективність використання для універсальних землерийних машин безківшевих роторних робочих органів з примусовим розвантаженням [1], що мають ряд переваг перед роторними ківшевими та ланцюговими, саме:

- теоретична продуктивність безківшевих роторів по виносу ґрунту із забою вища, ніж у ківшевих роторних робочих органів, адже під час їх роботи ґрунт іде на розвантаження безперервним потоком, а не окремими порціями;
- примусове розвантаження безківшевих роторних робочих органів дозволяє зняти обмеження на швидкість різання ґрунту (швидкість обертання ротора) і вибирати величину швидкості в діапазоні від 1,0 м/с до 10 м/с.

Безумовно, безківшеві ротори мають і свої недоліки, однак проведені нами дослідження дозволяють стверджувати про ефективність їх використання.

Для спорудження в ґрунті протяжних виїмок різної ширини (траншей або котлованів) пропонується використовувати роторний безківшевий робочий орган, який в процесі розробки ґрунту забою обертається відносно своєї горизонтальної вісі зі швидкістю ω_p і переміщується відносно забою зі швидкістю поздовжньої подачі V_e . За умови віяльно-поступальної подачі робочого органа на забій в циклічному режимі з бічною швидкістю V_{bn} ґрунторозробний роторний робочий орган (рисунк) здатен відкопувати в ґрунті виїмку ширини B якої значно більша конструктивної ширини b ротора робочого органа. Ширина виїмки B визначається величиною кута α повороту ротора в горизонтальній площині. Задана глибина виїмки H може бути досягнута за декілька проходів машини по одному сліду.

Головним елементом конструкції безківшевого роторного робочого органа є центральний диск 5 по периферії якого встановлено траверси 4 трапецієвидної форми. На них закріплені різці 2 ротора, що здатні розробляти ґрунт як в процесі поздовжньої так і бічної подачі робочого органа на забій.

Для забезпечення необхідної жорсткості вільні кінці траверс об'єднані кільцями 3. По боках диска ротора встановлено два центральних барабани 1, що мають форму зрізаних конусів та розвернуті до диска своїми вершинами. Простір, обмежений зовнішньою поверхнею траверс і ріжучими лезами різців – зовнішні кільцеві порожнини.

Ротор встановлюється на рамі 6 і разом з нею може здійснювати коливальні рухи відносно поздовжньої вісі машини. Привод обертання ротора розміщено в просторі, обмеженому конічними барабанами. Бічне, циклічне переміщення ґрунторозробного ротора

здійснюється парою гідроциліндрів. Позаду ротора на рамі встановлено металник 7 з приводом та зачисний башмак 9 з поворотними бічними стінками. Стінки необхідні на зачисному башмаку під час роботи тільки в режимі віяльно-поступальної подачі для виключення просипання ґрунту з ротора на дно споруджуваної виїмки. Під час відкопування траншей в ґрунті бічні стінки зачисного башмаки відводяться назад, а їх роль виконують стінки споруджуваної траншеї

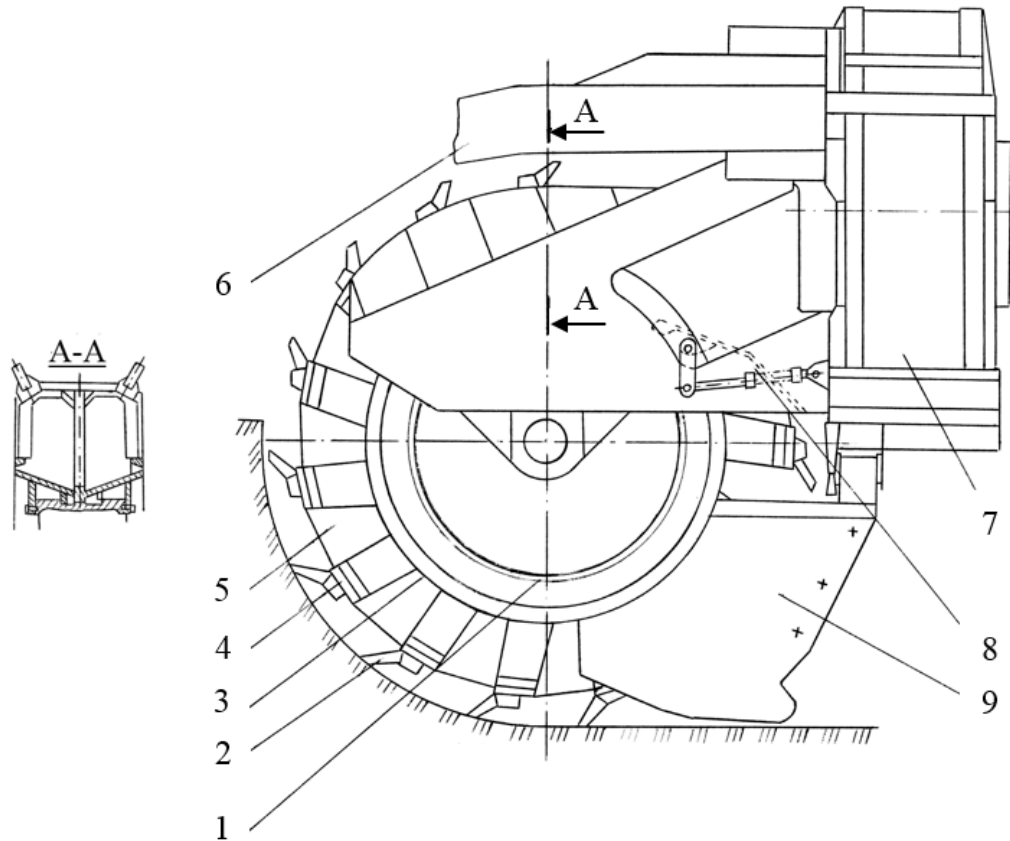


Рисунок. Конструкція універсального ротора: 1 – центральний барабан; 2 – зуб; 3 – кільце; 4 – траверса; 5 – центральний диск; 6 – рама; 7 – металник; 8 – розвантажувальний вузол; 9 – зачисний башмак

В обох внутрішніх кільцевих порожнинах універсального ротора розміщено розвантажувальні вузли 8 ротора, що призначені для переміщення ґрунту, що транспортується із забою у внутрішніх та зовнішніх порожнинах ротора в металник через вікна між траверсами на периферію металоконструкції ротора. Розробка котлованів характеризується попеременною роботою лівою, або правою кільцевими порожнинами ротора.

Дослідження робочого органа виконано нами на його фізичної моделі, виготовленій в масштабі 1:5 з дотриманням всіх вимог теорії подібності і фізичного моделювання.

Найбільш ефективна розробка ґрунту безківшевим ротором універсальної землерийної машини безперервної дії досягається за умови коли кут конусності центральних барабанів $30^\circ \pm 5^\circ$, кут нахилу траверс до центрального диска $270^\circ \pm 3^\circ$, ширина траверс повинна бути не більше 0,270 м з урахуванням вильоту різців. Максимальна продуктивність дослідженої конструкції безківшевого роторного універсального робочого органа – 300 м³/год.

Встановлено роботоздатність робочого органа під час роботи як в сипучих, так і в'язких, липких ґрунтах. Енергоємність розробки ґрунту 0,...0,28 кВт·год/м³.

Література

1. Мусійко В. Д. Експаватори поздовжнього копання : навч. посіб. Київ, 2008. 240 с.

УДК 621.87

ПОБУДОВА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТЕРЖНЕВОЇ СТІЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ

THE CONSTRUCTION OF A MODEL FOR STUDIES OF THE STRESS-DEFORMATION STATE OF A ROD-BOOM SYSTEM

Паламарчук Дмитро

*Київський національний університет будівництва і архітектури, просп.. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037*

Підвищення надійності конструкцій вантажопідіймальних машин, зниження металоємності, покращення експлуатаційних показників, розширення функціональних можливостей, збільшення напрацювання до відмови є важливим напрямком роботи з удосконалення існуючих та проектування нових вантажопідіймальних кранів.

Складовою частиною вирішення таких задач є задача створення раціональних високопродуктивних конструкцій вантажопідіймних кранів із горизонтальним переміщенням вантажу при зміні вильоту, які знайшли широке застосування при виконанні навантажувально-розвантажувальних робіт в портах, при монтажних і будівельних роботах.

Важливим недоліком конструкції шарнірно-зчленованих стрілових систем є нелінійна залежність між кутом повороту стріли та горизонтальною координатою переміщення вантажу. Тобто, при рівномірному повороті стріли на деякий кут – вантаж рухається нерівномірно. Що, в свою чергу, призводить до виникнення динамічних навантажень і, як наслідок, до розгойдування підвішеного вантажу.

Розгойдування вантажу викликає втомлене руйнування елементів металоконструкцій стрілової системи та призводить до збільшення динамічних навантажень на елементи механізмів крана, що веде до їх поломок, які є причинами простоювання та дорогих ремонтів.

Часто збільшені динамічні навантаження спричиняють ще й виникнення тріщин у листових елементах та зварних швах самих ланок. Найчастіше тріщини утворюються у місцях приварювання провусин шарнірів до листового металу самої ланки, наприклад, стріли, відтяжки, тяги механізму врівноваження, тощо.

Здебільшого, тріщини виникають саме у зварних швах, а потім поширюються і на основний метал елемента металоконструкції, при цьому довжина тріщини може сягати довжини до 500 мм (рис. 1).



Рис. 1. Втомлене руйнування стріли у місцях стикування листів металоконструкції

Часто тріщини утворюються у місцях стикового зварювання двох листів різної товщини, у місцях підсилення ланок за допомогою кутників та пластин. Також можливе виникнення тріщин у місцях різкої зміни перерізу скруглення зварної конструкції або ж у місцях кріплення провудин чи стаканів підшипників.

Для виявлення впливу статичних та динамічних навантажень на стрілу крана постало питання побудови квазістатичної моделі для аналітичного дослідження внутрішніх напружень у металокопструкції ланок стрілової системи.

Для проведення досліджень побудовано аналітичну модель динаміки стрілової системи. За основу досліджуваного об'єкту взято портовий вантажопідіймальний кран МАРК-40 спільного виробництва України та Фінляндії. При побудові аналітичної досліджуваної моделі стрілової системи прийнято наступні припущення:

- стрілова система представлена механічною системою з ідеальними кінематичними парами у яких не відбувається розсіювання енергії;
- ланки є однорідними стержневими копструкціями з осьовим навантаженням;
- у ланках відсутні осьові крутильні навантаження;
- при розрахунках не враховуються маси обвідних блоків, канатів, зубчастої рейки, тяг і коромисел механізму врівноваження, тощо, оскільки їх маси суттєво малі, порівняно з масами інших ланок;
- вважається, що стрілова система у будь-якому положенні повністю врівноважена поворотною противагою;
- рух стрілової системи з вантажем, а також рух механізму зміни вильоту відбувається лише у одній площині – вертикальній;
- вітрове навантаження прикладається у вигляді розподіленого навантаження по всій довжині кожної ланки у площині руху стрілової системи;
- звисаюча гілка вантажного канату не розтягується і приймається як пряма абсолютно жорстка струна, в якій відсутній внутрішній прогин;
- точка підвісу вантажу до канату та центр мас вантажу співпадають;
- кінцева точка хобота (вісь обвідного блока), а відповідно й вантаж рухаються по горизонталі при зміні вильоту стрілової системи;
- центр мас хобота співпадає з шарніром «стріла-хобот».

Вказані припущення дозволяють суттєво спростити досліджувану модель стрілової системи, а відповідно і математичний апарат розв'язку моделі та незначно впливають на точність розрахунків. Прийняті припущення дозволяють отримати теоретичний результат в межах встановленої інженерної похибки, що лежить в межах 5% точності.

Зазвичай, для виготовлення металокопструкції сучасних кранів використовуються сталі ASTM A572-50, S315MC, S355MC, S420MC, S460MC, тощо. Це високоміцні копструкційні низьколеговані сталі, що мають гарну зварюваність. Межа текучості лежить у межах: $\sigma_{0.2}=250...460$ МПа при товщині від 16 мм.

Прийняте вітрове навантаження відповідає другому вітровому району зі значенням $w_0=450$ Па.

До складу аналітичної моделі стрілової системи входять такі ланки (рис. 2): 1 – стріла; 2 – хобот в зборі з контрхоботом; 3 – жорстка відтяжка; 4 – рухома противага; 5 – вантаж; 6 – ротор електродвигуна приводу механізму зміни вильоту. Динамічна модель характеризується наступними геометричними характеристиками. До таких характеристик стрілової системи та її моделі (рис. 2) належать: L – довжина стріли; l – довжина хобота; r – довжина контрхобота; R – довжина жорсткої відтяжки; H – висота підвісу вантажу над нижнім шарніром стріли; R_0 – радіус кінцевого обвідного блока хобота; α – кутова координата стріли; y_1, y_2, y_4 – вертикальні координати центрів мас, відповідно: стріли, хобота та противаги; x_2, x_5 – горизонтальні координати центрів мас, відповідно: хобота та вантажу; x_0 – горизонтальна координата осі кінцевого блока хобота; $\varphi_2, \varphi_3, \varphi_4$ – кутові координати, відповідно: хобота, відтяжки та коромисла противаги; φ_6 – кутова координата ротора електродвигуна; ψ – кут

відхилення вантажного канату від вертикалі.

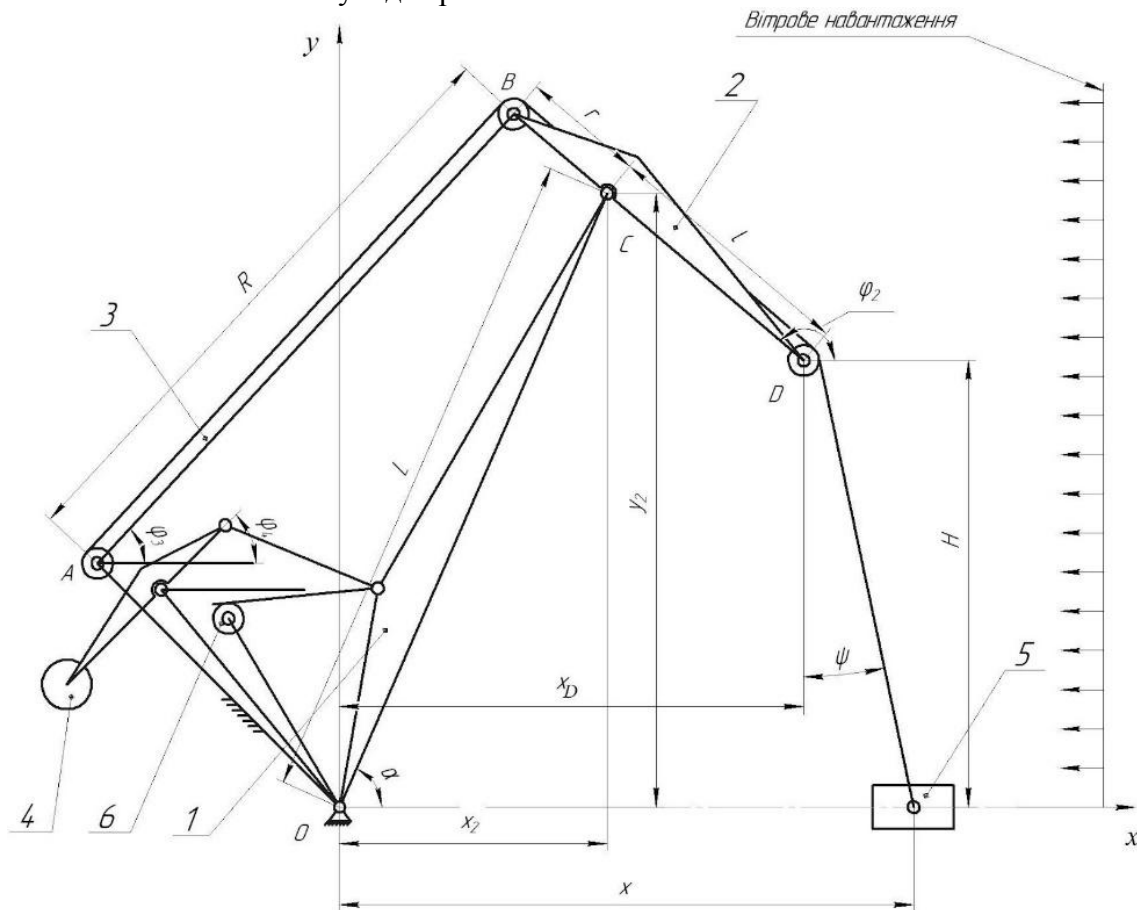


Рис. 2. Досліджувана модель стрілової системи з вітровим навантаженням

Для створення найбільш несприятливих факторів прийнято, що вітрове навантаження діє навпроти руху стрілової системи. У цьому випадку, навітряна площа включає в себе фронтальну площу металоконструкції стріли та площу лобової поверхні хобота.

Наведена динамічна модель дозволяє провести дослідження динаміки руху стрілової системи під час дії вітрового навантаження. Така постановка задачі дозволяє провести аналітичне дослідження навантажень у металоконструкції ланок стрілової системи за допомогою сучасних програмних комплексів.

Література

1. Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів : наказ Державного комітету України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду № 132. НПАОП 0.00–1.01–07. [Чинний від 18–06–2007]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 155 с.
2. Металеві конструкції: Загальний курс : підручник для вищих навчальних закладів / Нілов О. О., Пермяков В. О., Шимановський О. В. та ін. ; під загальною редакцією О. О. Нілова та О. В. Шимановського. Вид. 2-е, перероб. і допов. К. : Видавництво «Сталь», 2010. 869 с.
3. Ловейкін В. С., Паламарчук Д. А. Оптимізація режимів руху шарнірно-зчленованої стрілової системи крана : монографія. Київ : ЦП «КОМПРИНТ», 2015. 224 с.
4. Ловейкін В. С., Човнюк Ю. В., Кадикало І. О. Оптимізація режимів руху механізмів обертання вантажопідіймних кранів. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Сер. Техніка та енергетика АПК*. Київ, 2017. Вип. 262. С. 177–190.

УДК 621.878.23

СИНТЕЗ КОРЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З ДИНАМІЧНИМ АКТИВАТОРОМ

THE SYNTHESIS OF ROOTING EQUIPMENT WITH DYNAMIC ACTIVATOR

Паламарчук Дмитро, Назаренко Михайло, Панфілов Владислав

*Київський національний університет будівництва і архітектури, просп. Повітряних Сил, 31,
м. Київ, 03037*

Викорчовування дерев, кущів та їх залишків є одним із етапів підготовчих робіт. Найчастіше такі роботи, виконуються механізовано за допомогою навісного робочого обладнання до тракторів або екскаваторів. Так, при виконанні першого етапу підготовчих робіт, використовуються викорчовувачі, кущорізи, збирачі та навантажувачі.

Корчувачі призначені для корчування пеньків, коренів і каменів з переміщенням їх на невеликій відстані, видалення чагарнику і дрібнолісся, валки дерев, а також для розпушування щільних ґрунтів і видалення верхнього рослинного шару ґрунту.

Корчувачі-збирачі мають більший широкій робочий орган і тому краще пристосовані для робіт зі збирання і переміщення пеньків, коріння, чагарнику і наступному їхньому збиранню з території, що розчищається.

За напрямом дії сили розділяють основні способи механічного корчування пеньків:

- перекидання пеньків під дією горизонтальної сили, прикладеної до їх верхньої частини;
- перекидання пеньків під дією вертикальної та горизонтальної сили, що прикладені до бічного кореня;
- видобування пеньків під дією вертикальної сили;
- викручування пеньків шляхом їх обертання навколо вертикальної осі.

Найбільш поширеним способом викорчовування, який використовується в сучасних реаліях є другий спосіб. Цей спосіб дозволяє проводити викорчовування як зі збереженням прикореневої деревини так і без її збереження.

Класичною машиною, що дозволяє проводити таке викорчовування є викорчовувачі-збирачі КЧВ-2,55, МП-18.

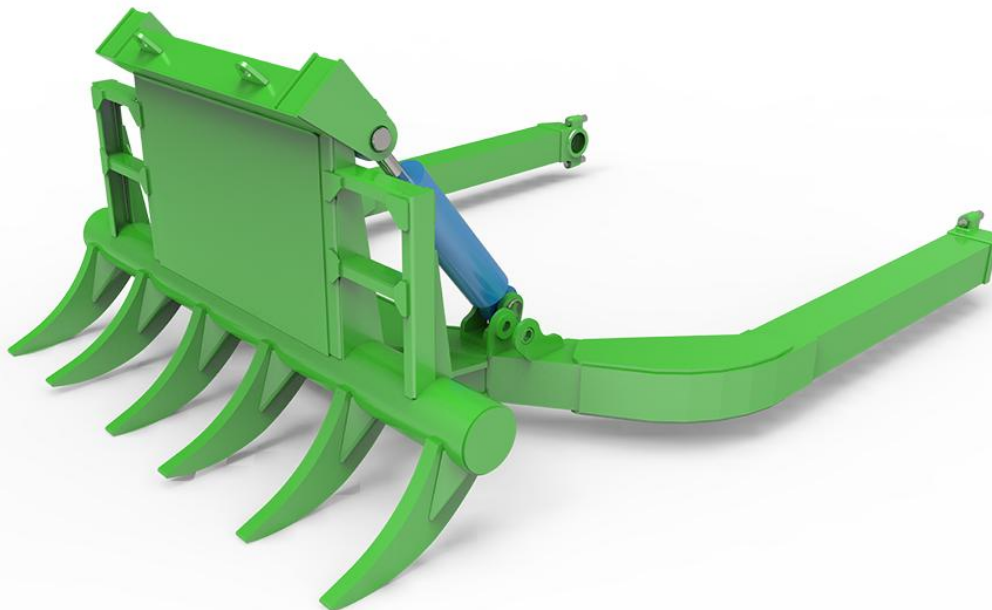


Рис. 1. Конструкція викорчовувача-збирача КЧВ-2,55

Таке робоче обладнання, крім викорчовування пеньків діаметром до 65 см, дозволяє проводити збирання каміння загальною масою до 3 т.

Недоліком такого обладнання є статична дія зубів викорчовувача на пеньок. Це призводить до того, що для створення робочого зусилля з різними напрямками сили машиніст змушений часто під'їжджати та від'їжджати трактором від пенька або ж створювати різновекторне навантаження за допомогою самого робочого органу. Тому, продуктивність роботи суттєво залежить від умінь та навичок тракториста-машиніста.

Тому, для збільшення продуктивності робочого обладнання пропонується використати вдосконалену гідравлічну схему викорчовувача. Такого ефекту можна досягти шляхом встановлення роторного розподільника гідравлічного потоку (рис. 2).

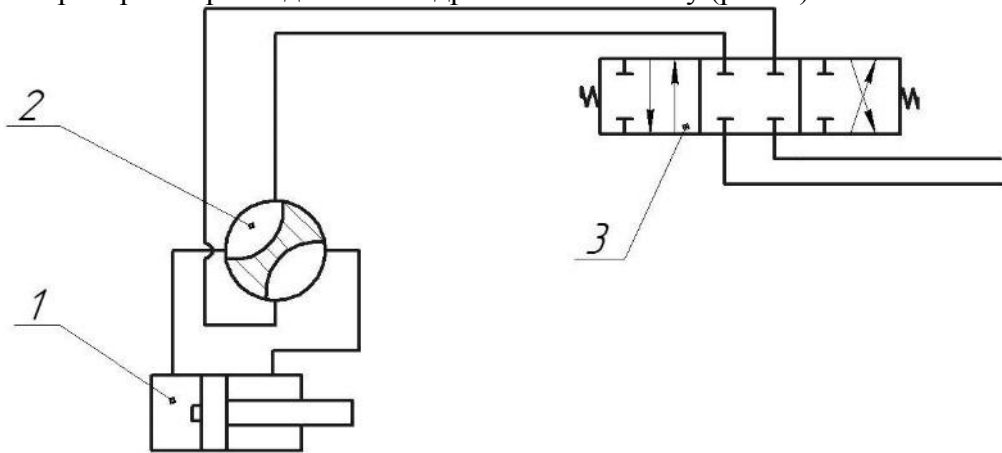


Рис. 2. Фрагмент гідравлічної схеми керування викорчовувачем

Гідравлічна схема такої конструкції включає в себе: 1. гідроциліндр (або ж пару гідроциліндрів) керування робочим органом викорчовувача; 2. Роторний гідравлічний розподільник з механічним приводом обертання; 3. трипозиційний гідравлічний розподільник.

Для забезпечення динамічної дії робочого обладнання на пеньок відбувається перемикання напрямку потоку рідини в гідроциліндрі. Причому, частота перемикання залежить від частоти обертання ротора розподільника.

Варто відмітити, що для збільшення можливостей використання робочого обладнання у гідравлічній схемі машини доцільно зберегти можливість використання статичного режиму роботи. Оскільки, різні види дерев та їх кореневих систем потребують поєднання кількох технологій викорчовування.

Запропонована конструкція гідравлічної системи керування дозволить збільшити продуктивність викорчовування великих за масою пеньків та тих залишків дерев, що потребують значних затрат енергії.

Література

1. Ковбаса В. П., Коваль Я. В. Аналіз способів розчистки вирубок від пнів. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини* : Всеукраїнський зб. наук. праць. 2008. № 71. С. 43–50.
2. Міщук Д. О. Оптимізація зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом на транспортному засобі : автореф. дис. канд. техн. наук : спец. 05.05.04. Київ, 2013. 23 с.
3. Паламарчук Д. А., Голотюк М. В. Дослідження процесу викорчовування при роботі за оптимальним ривковим режимом. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини* : Всеукраїнський зб. наук. праць. 2016. № 88. С. 21–27.

УДК 629.113:621.89

МЕТОДИ ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

METHODS OF PROLONGING THE RESOURCE OF MOTOR VEHICLES UNDER CONDITIONS OF INTENSIVE OPERATION

Пахаренко Володимир, Маринюк Володимир, Ящук Олександр

*Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна,
11, м. Рівне, 33028*

У сучасних умовах, коли інтенсивність експлуатації автотранспортних засобів (АТЗ) постійно зростає, особливо в логістичних компаніях, агропромисловості та міських перевезеннях, надзвичайно актуальним є питання подовження їх ресурсу. Тривалість ефективного використання транспортних одиниць без значних витрат на капітальний ремонт або заміну визначає економічну доцільність автопарку, впливає на безпеку дорожнього руху та екологічний стан навколишнього середовища. Основним фактором, що обумовлює зниження ресурсу АТЗ, є поєднання високих навантажень, несприятливих дорожніх і погодних умов, а також недотримання технології обслуговування і ремонту. Тому важливо сформувати науково обґрунтовані методи продовження ресурсу АТЗ, які базуються на комплексному аналізі технічного стану, застосуванні інноваційних технологій діагностики, регламентованому обслуговуванню та впровадженні адаптивних систем моніторингу [1; 2].

Основою для вирішення задачі подовження ресурсу є систематичне дослідження впливу експлуатаційних факторів на технічний стан основних агрегатів. Зокрема, було виявлено, що двигун, трансмісія, ходова частина та системи керування найбільше піддаються зношуванню в умовах підвищених навантажень. Для аналізу цього впливу було створено математичну модель, яка враховує кількість мотогодин, інтенсивність навантаження, температуру робочих рідин та якість пального. Модель дозволила визначити критичні порогові значення, при перевищенні яких імовірність відмови зростає в геометричній прогресії. Для прикладу, при температурі моторної оливи вище 120° С ймовірність зниження в'язкісних характеристик зростає у 1,7 рази, що веде до прискореного зношення пар тертя.

Продовження ресурсу автотранспортних засобів (АТЗ) є комплексною задачею, вирішення якої потребує системного підходу на основі аналізу технічного стану, режимів експлуатації, якості обслуговування та умов навколишнього середовища. Серед найбільш ефективних методів, що довели свою результативність в умовах інтенсивної експлуатації, можна виокремити такі [3; 4].

Впровадження систем технічного моніторингу в реальному часі. Системи на базі IoT (інтернет речей) дозволяють постійно контролювати параметри роботи ключових агрегатів: температуру мастила, вібрації, навантаження, рівень зносу гальмівних колодок тощо. Аналіз зібраних даних дає змогу прогнозувати несправності до їх фактичного настання, своєчасно планувати технічне обслуговування та запобігати аварійним ситуаціям.

Використання високоефективних мастильних матеріалів та присадок. Сучасні синтетичні оливи з нанодисперсними домішками забезпечують зниження коефіцієнта тертя, зменшують інтенсивність зносу та сприяють стабільній роботі вузлів навіть у важких умовах. Використання таких мастил може збільшити міжсервісний інтервал до 30–40%, що позитивно впливає на ресурс техніки.

Оптимізація режимів навантаження та експлуатації. Зниження пікових навантажень, уникнення перевантажень та адаптація стилю керування дозволяє зменшити динамічні навантаження на двигун, трансмісію та ходову частину. Сучасні системи телематики

допомагають аналізувати стиль водіння та вносити корективи для підвищення довговічності техніки.

Адаптивне технічне обслуговування за фактичним станом. На відміну від планово-запобіжної системи, яка базується на пробігу, адаптивне обслуговування враховує реальний технічний стан агрегатів, визначений шляхом діагностики. Це дозволяє уникати зайвих операцій при ТО і, водночас, не допускати експлуатації зношених компонентів.

Використання відновних технологій та матеріалів. Технології відновлення зношених деталей, такі як наплавлення, напилення, обробка плазмою, дозволяють суттєво знизити витрати на капітальний ремонт і зберегти заводську геометрію та функціональність агрегатів. Це особливо актуально для важкодоступних або дорогих у заміні компонентів.

Методика розв'язання проблеми включає кілька ключових підходів. Перш за все, передбачено впровадження цифрових систем моніторингу на базі IoT, які дозволяють в режимі реального часу контролювати температуру, тиск, вібрації та інші параметри, що характеризують технічний стан вузлів АТЗ. Дані передаються на центральний сервер, де за допомогою машинного навчання виконується аналіз і прогноз залишкового ресурсу агрегатів. Це дозволяє оперативно планувати ТО і запобігати критичним поломкам.

Другим напрямком є використання вискоефективних мастильних матеріалів, зокрема синтетичних олив з додаванням нанодисперсних модифікаторів тертя. Випробування показали, що використання таких мастил знижує зношування поверхонь тертя на 30–40% у порівнянні з мінеральними аналогами. Крім того, дослідження впливу технології адаптивного обслуговування, яка базується на реальному навантаженні, показали зменшення кількості відмов до 25%.

Практичні приклади застосування методів подовження ресурсу було реалізовано на базі автотранспортного підприємства, де проведено аналіз роботи 20 вантажних автомобілів протягом 12 місяців. В результаті впровадження автоматизованої системи обліку технічного стану та регламентованого ТО вдалося скоротити кількість позапланових ремонтів на 32%, а середній пробіг між ремонтами збільшився з 68 до 91 тис. км. Крім того, на 11% зменшились витрати на запасні частини завдяки ранньому виявленню несправностей.

Оцінка економічної ефективності була здійснена за показниками економії на ремонтах, витратах на простій техніки, зменшенні витрат пального та продовженні терміну служби техніки. Було виявлено, що кожна вкладена гривня у систему моніторингу та якісні мастильні матеріали дає економічний ефект у 2,4 рази впродовж трьох років експлуатації.

Таким чином, подовження ресурсу автотранспортних засобів в умовах інтенсивної експлуатації є досяжним завдяки застосуванню комплексу заходів: впровадження систем моніторингу технічного стану, адаптивного технічного обслуговування, використання інноваційних матеріалів і прогнозової діагностики. Це не лише забезпечує технічну надійність і безпеку, а й підвищує рентабельність автотранспортного господарства. Подальші дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію таких систем в єдиний цифровий контур керування автопарком із залученням штучного інтелекту та хмарних обчислень.

Література

1. Ensuring the efficiency of the system of technical maintenance and repair of transport and technological machines / Holotniuk M. V., Shymko A. V., Shovkomys O. V., Martyniuk V. L. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2023. Vol. 99, No. 1. Pp. 5–17.
2. Кіреєв В. І. Технічна експлуатація автомобілів : підручник. К. : Либідь, 2021. 312 с.
3. Герасименко В. В., Швець А. О. Технології технічного обслуговування транспортних засобів. Харків : НТУ «ХПІ», 2020. 228 с.
4. Ильин В. П., Юнин И. С. Надійність і ремонт автомобілів. М. : Транспорт, 2022. 314 с.

УДК 621.82

ДО ПИТАННЯ СТІЙКОСТІ КОЛІСНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ

ON THE QUESTION OF STABILITY OF WHEELED LOADERS

Пуць Віталій, Жук Валентин

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

Forklifts are nowadays one of the most common and popular types of bucket loading and unloading equipment that helps to increase the efficiency of various processes in the road construction, municipal, mining, agricultural and forestry industries, as well as on construction sites due to their compactness, maneuverability, versatility and affordable market price. The stability of a forklift depends on its design and weight distribution and is an important indicator that determines the safety of its operation. The authors propose to automate the process of stability control and take into account the effect of changes in the volume of loaded cargo in the bucket.

Навантажувачі в наш час є одним з найбільш поширених і затребуваних видів ковшового вантажно-розвантажувального обладнання, що допомагає підвищити ефективність виконання різних процесів у дорожньо-будівельній, комунальній, гірничодобувній галузях, а також в аграрній та лісовій сферах, на будівельних майданчиках через компактність, маневреність, універсальність і доступнішу ринкову вартість. Стійкість навантажувача залежить від його конструкції та розподілу ваги та є важливим показником, який визначає безпечність його експлуатації. Авторами запропоновано автоматизувати процес контролю стійкості та враховувати при цьому вплив зміни об'єму завантаженого вантажу у ківші.

Колісні навантажувачі – це важка будівельна техніка, яка широко використовується в різних галузях промисловості для виконання таких завдань, як навантаження, перетягування та транспортування матеріалів (рис. 1).

Колісні навантажувачі можуть оснащуватися різним навісним обладнанням, таким як ковші, вила та грейфери, що робить їх адаптованими для різних завдань.

Їхня основна перевага полягає в здатності швидко переміщатися на будмайданчику і за її межами. Колеса забезпечують високу мобільність на твердому ґрунті, проте ефективність знижується на м'яких та в'язких поверхнях.

Основні характеристики фронтальних навантажувачів: вантажопідйомність, об'єм ківша, потужність двигуна.

Колісні навантажувачі, незважаючи на свою надійність, схильні до різних несправностей. Знання найбільш поширених проблем та способів їх усунення допомагає підтримувати навантажувач у робочому стані та уникати дорогого ремонту.

Для колісних навантажувачів одним з найбільш важливих показників безпеки та працездатності, що визначає допустиму область їх використання, є їхня стійкість проти перекидання.

Відомі дослідження Європейського агентства з безпеки та гігієни праці (OSHA) [1] показали, що нещасні випадки, пов'язані з перекиданням навантажувачів, є основною причиною нещасних випадків зі смертельними наслідками на робочому місці. Майже завжди водій опинявся у «мишоловці» між навантажувачем та землею, що призводило до серйозних травм голови чи верхньої частини тіла



Рисунок. Колісний навантажувач

Особливої актуальності проблема контролю стійкості набуває для навантажувачів великої вантажопідйомності, що працюють на пересіченій місцевості та на схилах, у кар'єрах та на розробці гірських родовищ. Вантажопідйомність таких машин становить до 30–50% від їхньої експлуатаційної маси, що істотно впливає на стійкість. Крім того, використання на навантажувачах змінних робочих органів вантажопідйомно-монтажної групи (кранова безблочна стріла, вила, щелепне захоплення) робить проблему контролю вантажопідйомності та стійкості ще більш актуальною.

Вирішенню такої проблеми, як стійкість присвячено роботи [2–6]. Як показав аналіз досліджень, автори робіт розглядають проблему стійкості за умови, що навантажувач знаходиться на рівній поверхні. Крім того, аналіз стійкості проводиться за умови, що центр ваги передньої частини навантажувача розташований над центром передньої осі, при цьому центр ваги задньої частини – відповідно над центром задньої осі. Такі припущення призводять до похибки у визначенні динамічних та експлуатаційних показників навантажувача.

Одним із шляхів зниження небезпеки перекидання є застосування пристроїв вимірювання та контролю, що попереджають водія звуковими та світловими сигналами про небезпечний режим роботи. Однак, до цього часу на навантажувачі не використовуються пристрої вимірювання та контролю стійкості, за винятком простих креномірів, що не враховують вагу матеріалу в ківші навантажувача, кут підйому стріли, і не дають внаслідок цього точної інформації про ступінь небезпеки.

Як показує аналіз досліджень [2–6] розробка пристроїв вимірювання та контролю стійкості стримується відсутністю методів вимірювання маси матеріалу в ківші навантажувача в різних технологічних умовах.

У науковій та технічній літературі відсутні описи методів математичного моделювання та результати дослідження таких систем. Таким чином, задача розроблення пристроїв вимірювання маси матеріалу в ківші, пристроїв вимірювання та контролю запасу стійкості для оснащення навантажувачів є актуальною.

Для вимірювання маси матеріалу в ківші навантажувача можна застосувати метод,

спрямований на визначення різниці тисків у порожнинах силових гідроциліндрів робочого обладнання. Даний метод дасть можливість розробити модель, яка розкриє вплив зміни маси завантаженого матеріалу на стійкість навантажувача. Вимірювання різниці тисків буде автоматизоване. З цією метою розробляється програмне забезпечення, яке спрямовано на контроль стійкості. Для автоматизації даного процесу підібрано пристрої вимірювання та контролю, які будуть передавати результати замірів на бортовий комп'ютер навантажувача.

Література

1. European Agency for Safety and Health at work. URL: <https://osha.europa.eu/en> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Yefymenko A., & Musaiev Z. Проблема стійкості короткобазових колісних навантажувачів при виконанні транспортних операцій та шляхи її вирішення. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2020. Вип. 95. С. 54–59.
3. Небога А. О., Мороз С. М. Удосконалення конструкції навантажувача ПНФ-250. *Досягнення та перспективи галузі виробництва, переробки і зберігання сільськогосподарської продукції* : матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції. Кропивницький : ЦНТУ, 2018. С. 42. 57 с.
4. Єфименко Олександр; Мусаєв Заур. Проблема стійкості короткобазових колісних навантажувачів при виконанні транспортних операцій та шляхи її вирішення. 2020.
5. H. P. Du, N. Zhang, and F. Naghdy. Velocity-dependent robust control for improving vehicle lateral dynamics. *Transport. Res. C-Emer. Technologies*. 2011. Vol. 19. Pp. 454–468.
6. H. Yu, L. Guvenc, and U. Ozguner. Heavy duty vehicle rollover detection and active roll control, *Vehicle Syst. Dyn.* 2008. Vol. 46. Pp. 451–471.

УДК 66.047.3

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВ

RESEARCH INTO THE PROCESS OF MIXING NUTRIENT SOLUTIONS FOR GREENHOUSE FARMS

Ріпа Сергій, Бабин Ігор, Луц Павло

Вінницький національний аграрний університет, Україна, м. Вінниця

An important role in greenhouse farms is played by fertigation systems that combine irrigation with fertilizer application. The effectiveness of such systems depends on the accuracy of dosing and the quality of mixing of nutrient solutions. The main attention is paid to the analysis of the designs of dosing and mixing devices, in particular static jet mixers and ejector systems. Theoretical approaches to determining the geometric parameters of the devices are considered.

У сучасному рослинництві при спільному зрошенні та внесенні добрив використовуються водно-добривні суміші, що містять рідкі або розчинені мінеральні речовини.

Підготовка таких розчинів відбувається в кілька етапів: спочатку тверді добрива завантажуються в резервуар, після чого додається вода, а для пришвидшення розчинення й досягнення однорідної суміші застосовуються мішалки. У тепличних умовах процес змішування добрив може здійснюватися різними методами, зокрема циркуляційним або механічним, що зображено на рисунку 1.

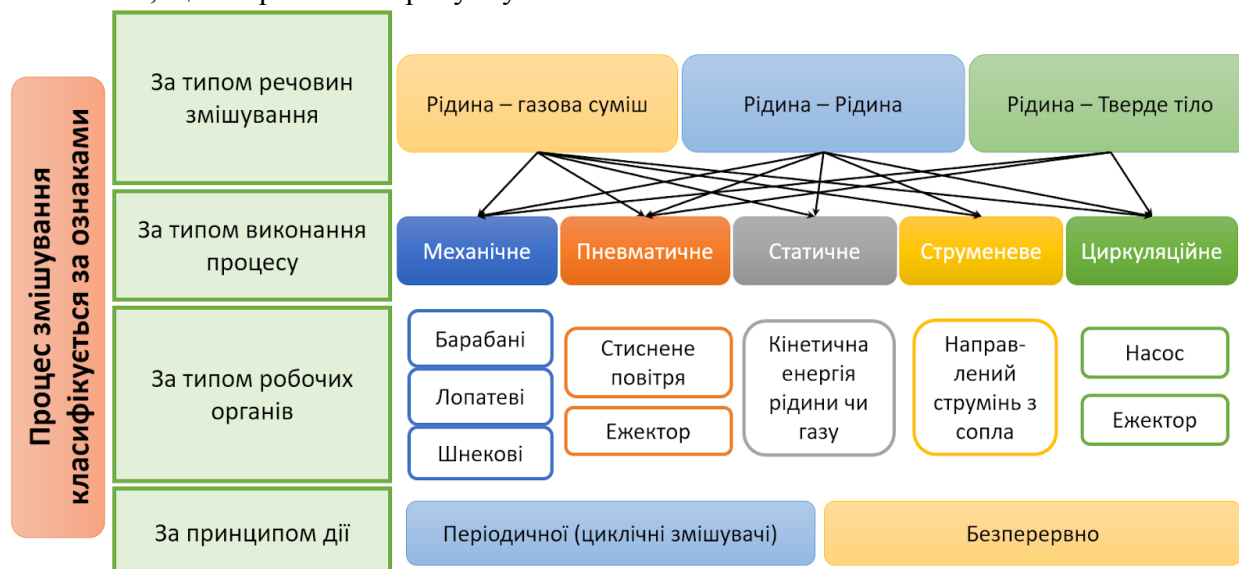


Рис. 1. Технологічний процес змішування мінеральних добрив у розчинах

Циркуляційне змішування є більш ефективним при роботі з легко розчинними або дрібнодисперсними компонентами, тоді як механічне - краще підходить для важкорозчинних твердих добрив із різним гранулометричним складом, наприклад, суперфосфату. На початковому етапі приготування таких розчинів відбувається взаємодія твердої фази з рідкою, де добрива контактують з рідиною під дією потоку та механічного впливу змішувальних пристроїв [1].

Застосування поточкових фертигаційних систем у тепличному господарстві дозволяє ефективно поєднувати полив із живленням рослин, зменшуючи при цьому витрати ресурсів.

Аналіз сучасних змішувачів для обробки рідин із середньою в'язкістю та конструкцій їх елементів дозволяє сформувати перелік обладнання, доцільного для подальшого дослідження (рис. 2).

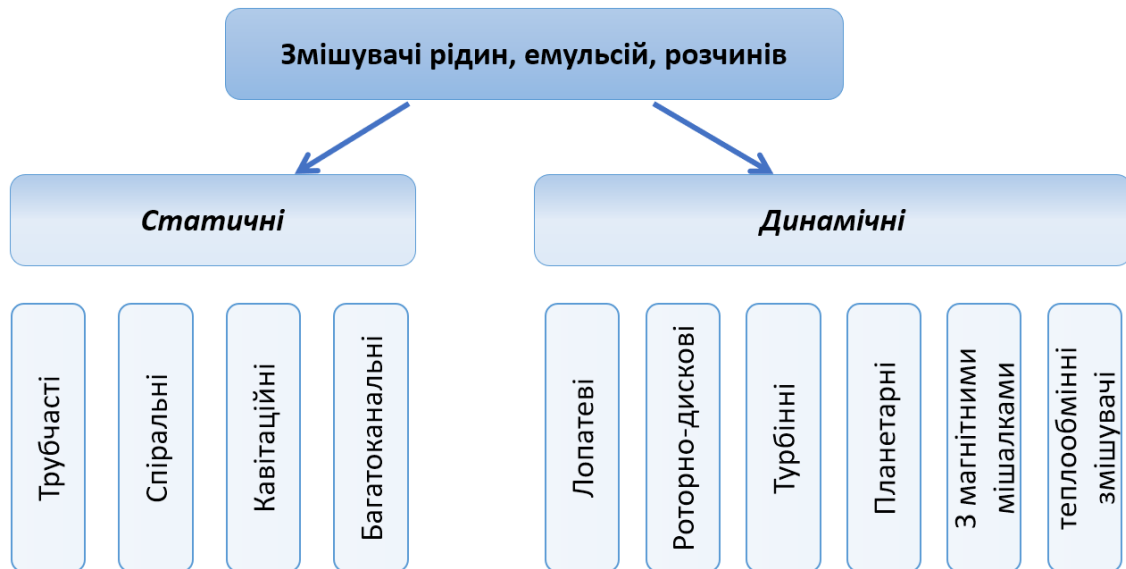


Рис. 2. Змішувачі рідких середовищ та сумішей

Один із найпоширеніших і результативних методів змішування рідин у фертигаційних установках, зокрема в гідропонних системах, це механічне змішування за допомогою мішалок з рухомими елементами [2]. Проте використання таких приводних пристроїв може ускладнювати обслуговування систем через наявність рухомих елементів. Альтернативним і більш надійним варіантом є статичні змішувачі потокового типу, які функціонують без рухомих компонентів, використовуючи гідродинамічні принципи для забезпечення ефективного змішування.

У більшості наукових досліджень геометрії струменевих змішувачів-дозаторів основна увага зосереджена на обчисленні коефіцієнта інжекції - важливого показника, що визначає ефективність дозування та ступінь змішування компонентів. Цей коефіцієнт відображає співвідношення між кількістю рідини, що всмоктується, і об'ємом основного потоку, і є критичним параметром для налаштування роботи змішувачів у системах подачі рідких добрив.

Розроблені аналітичні підходи дозволяють визначити оптимальні розміри та конфігурації струменевих пристроїв – зокрема діаметри сопел і геометрію змішувальних камер – що впливають на точність дозування та рівномірність приготування розчинів. Для оцінки ефективності роботи насадок-змішувачів широко застосовуються моделювання, у яких враховується вплив конструктивних характеристик на якість отриманої суміші. Такі моделі, як правило, базуються на напівемпіричних залежностях і вимагають встановлення значень коефіцієнтів гідралічного опору, що потребує додаткових експериментальних досліджень і витрат ресурсів.

Окремий напрям досліджень присвячений аналізу формування вихрових потоків у циліндричних змішувачах із вбудованими напрямними елементами [3], що дозволяє глибше зрозуміти механізми інжекції та вдосконалити параметри роботи пристроїв у системах фертигації (рис. 3).

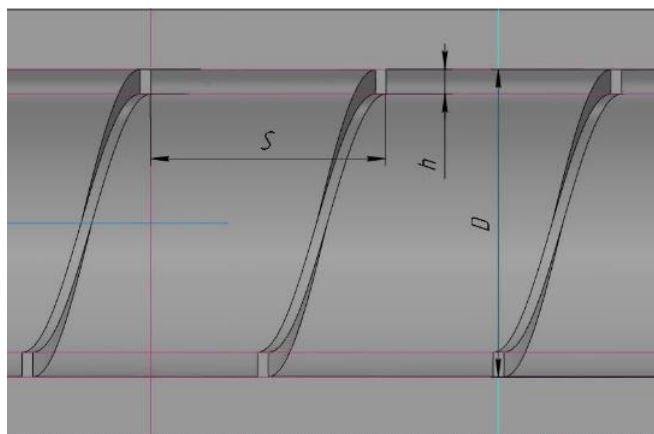


Рис. 3. Схема каналу циліндричного потокового змішувача

Інтенсивність закручування потоку використовується як критерій оцінки геометричних характеристик каналів із частковим встановленням внутрішніх напрямних елементів. Найбільше практичне застосування у цьому напрямі мають методики інженерного аналізу та розрахунку змішувачів проточного типу з урахуванням особливостей турбулентного потоку та процесів дифузії [4]. Проведено аналіз ефективності таких змішувачів за показниками якості виконання технологічного процесу та рівнем інтенсивності перемішування. Виокремлено основні чинники, що впливають на формування змішувального потоку та описано особливості виникнення турбулентних режимів у процесі експлуатації.

Огляд сучасних конструкцій змішувачів, які працюють із рідинами середньої в'язкості, дозволив окреслити специфіку застосування різних типів змішувальних елементів у фертигаційних і промислових системах. Особливу увагу приділено геометричній оптимізації статичних змішувачів, включаючи визначення діаметру сопел, форми змішувальної камери та коефіцієнта інжекції. Саме цей коефіцієнт є важливою величиною, що характеризує співвідношення витрат робочої рідини та всмоктуваного розчину у струменевих змішувачах.

Дослідження підкреслюють значущість турбулентності та конструктивних характеристик для досягнення бажаного ефекту змішування. Експериментальні результати демонструють, що хоча турбулентність позитивно впливає на швидкість змішування і може зменшити енергетичні витрати, рівень однорідності отриманої суміші не завжди прямо залежить від інтенсивності потоку. Важливу роль у цьому відіграють геометричні особливості змішувача, зокрема ступінь закручування потоку та конфігурація внутрішніх елементів.

Удосконалення процесу змішування в струменевих пристроях передбачає розробку моделей, які враховують турбулентні коливання та механізми дифузії, а також впровадження нових конструктивних рішень, що сприятимуть підвищенню ефективності в умовах промислового використання.

Література

1. Мікульонюк І. О. Інноваційні змішувачі хімічної технології : монографія. Київ : КПІ ім. І. Сікорського. 2022. 132 с.
2. Приготування робочих розчинів. Компанія FMC : вебсайт. URL: <https://fmc.com.ua/articles/prigotuvannya-robochih-rozchiniv/> (дата звернення: 26.03.2025).
3. Берник І. М., Зозуляк О. В., Зозуляк І. А. Методичні вказівки для виконання лабораторних з дисципліни «Процеси та апарати харчових виробництв» для студентів напряму підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» денної форми навчання. Вінниця, 2017. 106 с.
4. Бабин І. А., Луц П. М., Ріпа С. В. Технології внесення добрив у сучасних тепличних господарствах. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. 2024. № 5(341). С. 270–274.

УДК 631.347

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДА НОЖЕВОГО МЕХАНІЗМУ БЛОЧНО-ПОРЦІЙНОГО ВИВАНТАЖУВАЧА

IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF THE HYDRAULIC DRIVE OF THE KNIFE MECHANISM OF THE BLOCK-TYPE UNLOADER

Руткевич Володимир

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

Сучасний розвиток агропромислового комплексу, машинобудування та транспортної галузі неможливий без впровадження інноваційних рішень, спрямованих на підвищення ефективності виробничих процесів та оптимізацію ресурсоспоживання. Одним із ключових напрямів досліджень є удосконалення енергетичних характеристик технологічного обладнання, зокрема ріжучих механізмів, що використовуються в сільськогосподарській техніці [1].

Зниження втрат потужності у приводах різального обладнання, зокрема у гідравлічних системах, сприяє покращенню енергоефективності, зменшенню експлуатаційних витрат та підвищенню надійності техніки.

Сучасні засоби сільськогосподарської техніки потребують застосування інтелектуальних приводних систем, обладнаних датчиками для контролю процесу і реагуючих на відхилення від заданих параметрів. Крім того, такий привод повинен бути легкий в керуванні, використуванні, ремонті та обслуговуванні [1; 2].

Специфічні умови роботи блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів (різноманітність консервованих кормів, видів і умов виконуваних робіт) на теперішній час не дозволяють керування робочим органом, яке б повністю виключало участь оператора. Створення такої системи керування при сучасній технології виробництва вивантажувачів дозволила б вирішити значну кількість технологічних задач.

Виробничі процеси, виконувані блочно-порційним вивантажувачем, складні і різноманітні. В більшості випадків вони характеризуються величинами випадкового порядку, змінення яких не є закономірним. Опір робочих органів при вирізанні консервованого корму змінюється в досить широкому діапазоні (максимальні значення можуть перевищувати більш ніж в два рази середні). Виникаючий опір різанню може бути закономірним (керування подачі ножевого механізму) і випадковий (наявність різних фракцій корму, промерзання та інше).

Робочий орган блочно-порційного вивантажувача в процесі різання знаходиться під дією неперервно змінюючогося навантаження, обумовленого різноманітністю факторів (глибиною різання, фізико-механічними властивостями корму). Зміна виникаючих факторів при взаємодії блочно-порційного вивантажувача з кормом визначає важкий характер режиму роботи. Усе це викликає значні труднощі при проектуванні системи керування приводом. Безперервна зміна технологічного опору на робочому органу і прагнення вибору оптимальних режимів різання призводить до необхідності зміни подачі ножевого механізму, здійснення регулювання процесу різання. Тому гідропривод поряд із зміною положення робочого органа повинен забезпечувати регулювання процесу різання.

Розрахунок гідропривода по необхідному зусиллю на штоці гідроциліндра та об'ємній подачі робочої рідини не може забезпечити вибір його параметрів, так як не враховує характеру неусталеного режиму роботи машини і гідропривода в цілому. Взаємозв'язок параметрів машини і гідропривода може бути встановлений лише при розгляданні процесу різання в умовах неусталеного режиму роботи.

Гідропривод зміни положення робочого органа блочно-порційного вивантажувача в якості виконавчого механізму використовує гідроциліндр. Вихідні параметри (зусилля на штоці і швидкість руху поршня) визначають необхідну потужність насоса з його відповідними вхідними параметрами – тиском та продуктивністю. Таким чином, продуктивність блочно-порційного вивантажувача залежить від подачі ножевого механізму.

Одним із напрямів в розв'язанні цієї проблеми є впровадження гідропривода, чутливого до навантаження. Особливістю цих гідроприводів є забезпечення руху гідродвигунів, як поступальної так і обертальної дії, від одного гідронасоса за наявності тиску в напірній гідролінії, що відповідає найнавантаженішому гідродвигуну. Це забезпечує зменшення витрат потужності у порівнянні з гідроприводом постійної витрати, оскільки контроль величини витрат робочої рідини в робочих контурах автоматично коректується з величиною витрат в напірній гідролінії у разі відхилення тиску навантаження від заданих значень [2; 3].

В гідроприводі, чутливому до зміни навантаження, підтримується постійне значення зрівноважувального перепаду тиску на дроселюючому елементі гідропривода та витрати насоса. Для забезпечення енергоощадного режиму роботи і зниження динамічних навантажень на блочно-порційний відокремлювач, які виникають при нераціональній подачі ножевого механізму розроблено гідравлічний привод відокремлювача, чутливий до навантаження (рисунок).

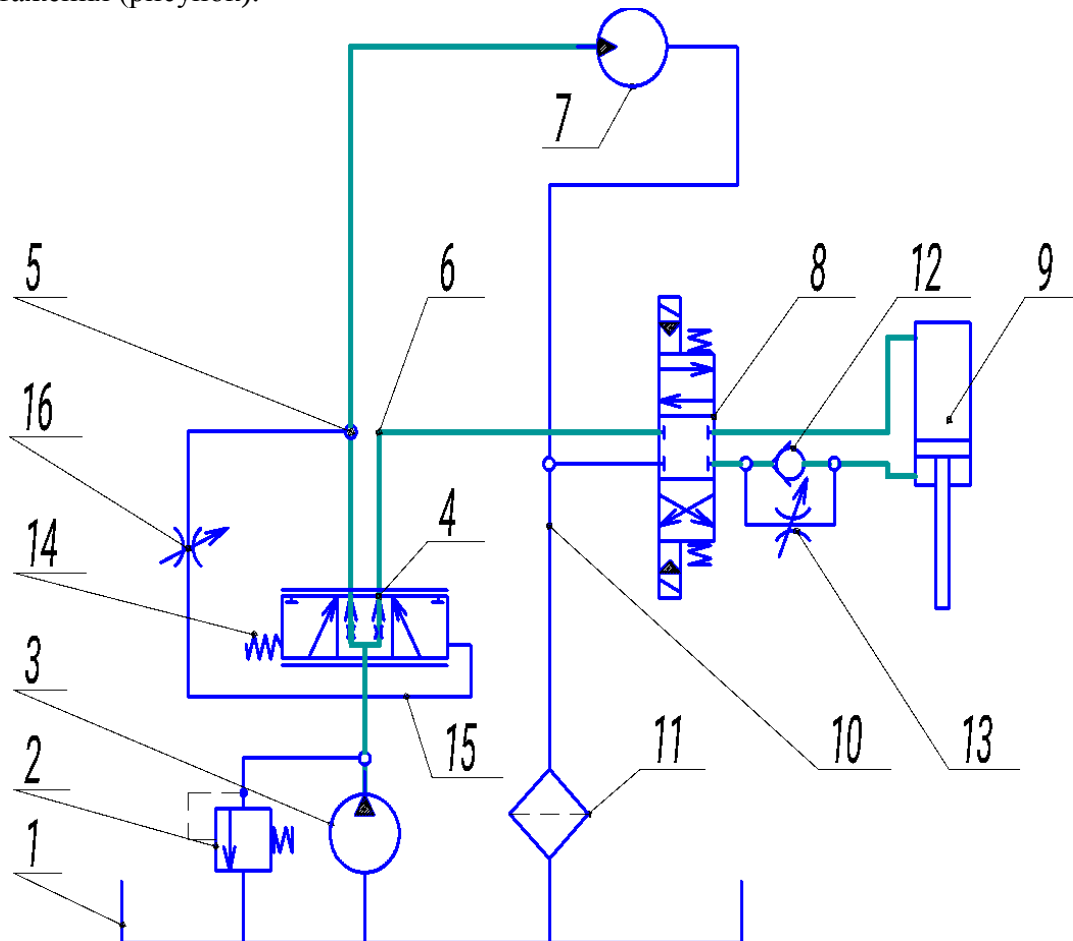


Рисунок. Гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованих кормів

Гідравлічний привод блочно-порційного відокремлювача консервованих кормів містить гідробак 1, запобіжний клапан 2, гідронасос 3, золотниковий ділильник потоку 4 з гідролінією керування 15, гідролінії напору 5,6, гідромотор 7 привода ножа, чотирьохлінійний трипозиційний розподільник з електрогідравлічним керуванням 8,

гідроциліндр 9 привода П – подібної рамки, гідролінії зливу 10, фільтр 11, зворотний клапан 12, регульовані дроселі 13, 16 та пружину 14.

Робоча рідина насосом 3 із бака 1 через золотниковий ділильник потоку 4 розподіляється через лінії напору 5, 6 в робочі порожнини гідромотора 7 та гідроциліндра 9 через чотирьохлінійний трипозиційний розподільник 8 з електрогідравлічним керуванням. Гідролінія керування 15 здійснює переміщення золотника ділильника потоку 4 при зміні навантаження на гідромоторі 7. Для плавності регулювання потоку робочої рідини в гідролінії керування 15 встановлено дросель 16. Зворотний клапан 12 в режимі піднімання П – подібної рамки забезпечує вільний прохід робочої рідини від розподільника 8 до штокової порожнини гідроциліндра 9.

При опусканні штока гідроциліндра 9 робоча рідина з штокової порожнини проходить через дросель 13, який дозволяє плавно регулювати швидкість руху П – подібної рамки за рахунок дроселювання робочої рідини.

Розроблений гідравлічний привод ножевого механізму блочно-порційного вивантажувача консервованих кормів дозволяє врахувати особливості технологічного навантаження за різних умов роботи машини, а також підвищити продуктивність вивантаження консервованого корму. Гідравлічний привод, чутливий до зміни навантаження на гідромоторі, на базі золотникового ділильника потоку забезпечує роботу гідропривода в таких режимах: розвантаження гідронасоса, регулювання витрати гідродвигуна та захист гідропривода від перевантаження. Крім того, використання гідропривода, чутливого до навантаження, усуває необхідність підтримувати постійно в гідросистемі максимальний робочий тиск, дозволяє покращити надійність, збільшити термін служби і підвищити ремонтпридатність встановленого обладнання.

Література

1. Ivanov M. I., Rutkevych V. S., Kolisnyk O. M., Lisovoy I. O. Research on the block-portion separator parameters influence on the adjustment range of operating elements speed. *INMATEH – Agricultural Engineering*. 2019. Vol. 57. No.1. P. 37–44.
2. Veselovska N. R., Rutkevych V. S., Shargorodsky S. A., Yaropud V. M., Kupchuk I. M. Simulation modeling of the adaptive system for hydraulic drives of a stalk forage separator. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*. 2025. Vol. 12(1). P. F8–F17.
3. Veselovska N., Shargorodsky S., Rutkevych V., Kupchuk I., Burlaka S. Development of the mathematical model of the hydraulic drive of the lift mechanism of the working equipment of the front loader. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Vol. 99 (10). P. 34–38.

УДК 62-3+664.002.5

ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАСЛІНОК ДОЗАТОРІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗМІРІВ ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ

DETERMINATION OF PARAMETERS OF BULK MATERIALS DOSER VALVES TO PROVIDE DIMENSIONS AND GRANULOMETRIC COMPOSITION

Рябчиков Микола, Мартинюк Віктор, Мельник Дмитро

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

The design requirements for volumetric feeders are analyzed, taking into account the accuracy of dosing, the granulometric composition of the material. The principle of operation of the volumetric gravity feeder, the mechanism of the damper functioning and the distribution of the load on its surface are described. A mathematical model for determining the deflection of the damper is presented, which takes into account the distribution of bending moments.

Основні фактори, що визначають актуальність створення дозаторів сипких продуктів можуть полягати в наступному:

- У сучасних умовах виробництва підприємства прагнуть до автоматизації процесів для підвищення продуктивності та точності. Дозатори дозволяють значно зменшити вплив людського фактора, що знижує похибки та втрати сировини.
- Використання дозаторів зменшує витрати на виробництво, оскільки забезпечує точне дозування, мінімізує перевитрати та втрати продукту. Це особливо важливо в харчовій, хімічній, фармацевтичній та аграрній галузях.
- Точне дозування сприяє стабільності характеристик кінцевого продукту, що критично для забезпечення стандартів якості.
- Автоматичні дозатори знижують контакт працівників із сипкими речовинами, що покращує санітарні умови та зменшує ризик контамінації.
- Оптимізація витрат сировини сприяє зменшенню відходів, що відповідає сучасним екологічним стандартам.
- Зростаючий попит на фасовані сипкі продукти (борошно, цукор, крупи, добрива тощо) стимулює розвиток технологій точного дозування та пакування.

Одним з факторів, що визначає працездатність і ефективність дозаторів є забезпечення розмірів та гранулометричного складу окремих частинок матеріалу. При цьому повинні забезпечуватись певні вимоги до точності окремих елементів дозаторів.

Мета даної роботи – сформулювати вимоги до конструктивних елементів об'ємних дозаторів сипких матеріалів, виходячи з вимог забезпечення розмірів та гранулометричного складу.

Принцип роботи об'ємного гравітаційного дозатору з декількома камерами наведено на рис. 1. На початку роботи заповнюється ліва камера, об'єм якої визначає дозу сипкого матеріалу. При цьому нижній отвір цієї камери закрито заслінкою, яка може хитатися навколо осі обертання.

Заслінка притискається до ємності за допомогою сферичного опори, розташованої на поверхні вузла обертання. При обертанні камер навколо вузла обертання сферична опора потрапляє у впадину, в результаті заслінка відкривається. При цьому доза сипкого матеріалу всипається в зону пакування.

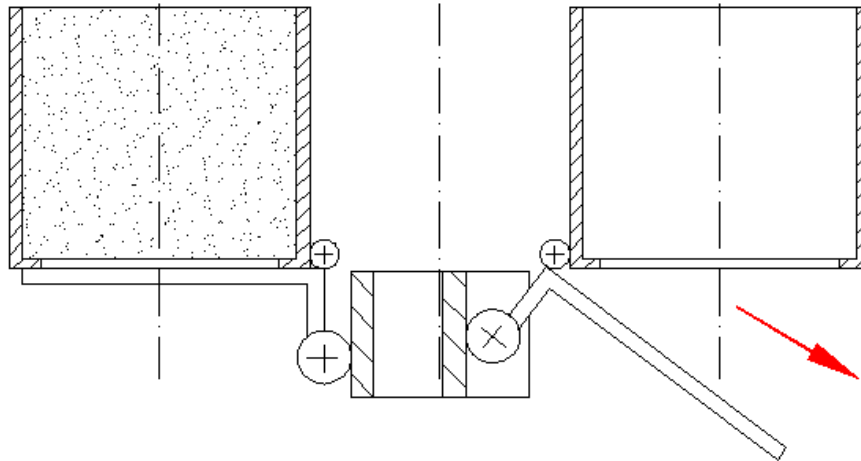


Рис. 1. Об'ємний гравітаційний дозатор сипкої продукції

Можливий мінімальний розмір гранул сипкого матеріалу визначається щільністю прилягання заслінки до поверхні камери дозатора. У вільному становищі ця щільність визначається шорсткістю і точністю виготовлення. При насипання матеріалу в камеру виникає розподілене навантаження на заслінку, яке намагається її деформувати.

Враховуючи циліндричну форму дозатора, розподілення навантаження буде нерівномірним. Будемо вважати форму розподілення параболічною, що визначається квадратичною функцією. Інтеграл від цієї функції в межах горизонтальної ділянки повинен дорівнювати вазі матеріалу, розміщеного в ємності. Враховуючи також нульові значення на границях ділянки, таку функцію можна записати у вигляді.

$$q = \frac{24mg}{\pi D^3} \left(\frac{x}{D} - \frac{x^2}{D^2} \right)$$

Максимальний прогин заслінки визначається деформаціями горизонтальною і вертикальною ланками. Ці деформації визначаються розподіленням згинальних моментів, а також показниками жорсткості ділянок.

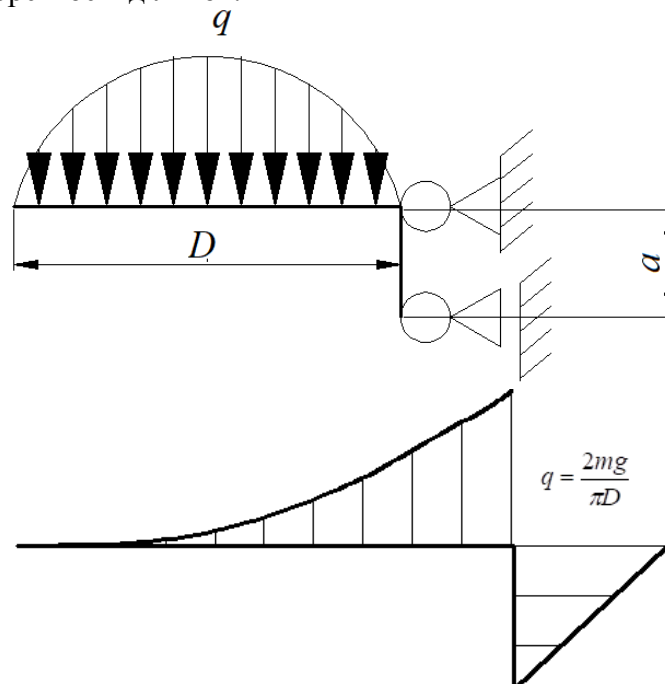


Рис. 2. Деформування заслінки дозатора

Для визначення функції згинальних моментів необхідно розв'язати диференціальне рівняння.

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = q$$

Розв'язання рівняння при визначених граничних умовах дає функцію моментів

$$q = \frac{4mg}{\pi D} \left(\frac{x^3}{D^3} - \frac{x^4}{2D^4} \right)$$

Епюри моментів двома ділянками наведені на правому зображенні рис. 2.

Максимальний прогин на кінці заслінки може бути знайдений при використанні інтегралу Мора.

$$\delta = \frac{4mg}{E \cdot \pi \cdot D^3} \left(\frac{1}{J_1} \int_0^D \left(x^3 - \frac{x^4}{2D} \right) \cdot x dx + \frac{D}{2a \cdot J_2} \int_0^a x^2 dx \right)$$

В цьому рівнянні – моменти інерції горизонтальної і вертикальної ділянки, – модуль пружності матеріалу. В результаті інтегрування одержуємо значення прогину

$$\delta = \frac{4mgD^3}{E \cdot \pi} \left(\frac{5}{24J_1} + \frac{D}{6a \cdot J_2} \right)$$

Це значення не повинно перевищувати мінімального розміру гранули сипкого матеріалу.

УДК 62-3+664.002.5

ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ РОБОТИ ДОЗАТОРІВ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ

ENERGY-SAVING OPERATION MODES OF LIQUID PRODUCT DISPENSERS

Рябчиков Микола, Пуць Віталій, Головій Аркадій

Луцький національний технічний університет, Луцьк, Україна

The article considers the principle of operation of a volumetric piston dispenser, which regulates the flow of liquid using a valve system and a power cylinder. The dependence of energy consumption on hydraulic resistance in the valve system and the speed of piston movement is studied. An approach to optimizing energy consumption is proposed through variational analysis of the function of changing the dispensing speed, which allows increasing the energy efficiency of the dispenser.

Актуальність створення дозаторів рідкої продукції зумовлена низкою технологічних, економічних та екологічних факторів.

Сучасне виробництво прагне до автоматизації, що підвищує ефективність, точність і швидкість розливу рідин. Дозатори дозволяють мінімізувати людський фактор і підвищити продуктивність [1].

Високоточне дозування запобігає перевитраті сировини, що особливо важливо в харчовій, фармацевтичній і хімічній промисловості. Це також сприяє зниженню собівартості продукції.

Дозатори рідин використовуються у виробництві напоїв, лікарських засобів, косметики, побутової хімії, що робить їх затребуваними в різних галузях промисловості [2].

Сучасні норми санітарії вимагають мінімізації контакту людини з продукцією. Дозатори допомагають зменшити забруднення і відходи, що важливо для екологічної безпеки.

Новітні розробки, такі як розумні дозатори, що використовують IoT і AI для контролю процесу розливу, забезпечують ще вищий рівень точності та ефективності [3].

Таким чином, створення дозаторів рідкої продукції є актуальним напрямом, що відповідає сучасним тенденціям автоматизації, економії ресурсів і дотримання високих стандартів якості.

У той же час такі дозатори є складним енерговитратним об'єктом, що вимагає заходів для економії енергоспоживання.

Мета даної роботи – обґрунтувати режими роботи дозаторів рідкої продукції з врахуванням зниження енергоспоживання.

Принцип роботи об'ємного поршневого дозатора показаний на рис. 1.

Бак 1, заповнений рідкою або пастоподібною речовиною 2, з'єднаний із ємністю 4. Потік матеріалу в ємність регулюється клапаном 6, який може відкривати або перекривати вхід. Подача та видалення речовини здійснюється за допомогою силового циліндра 5. Вихідний отвір контролюється пристроєм 7, який може дозволяти або блокувати вихід речовини.

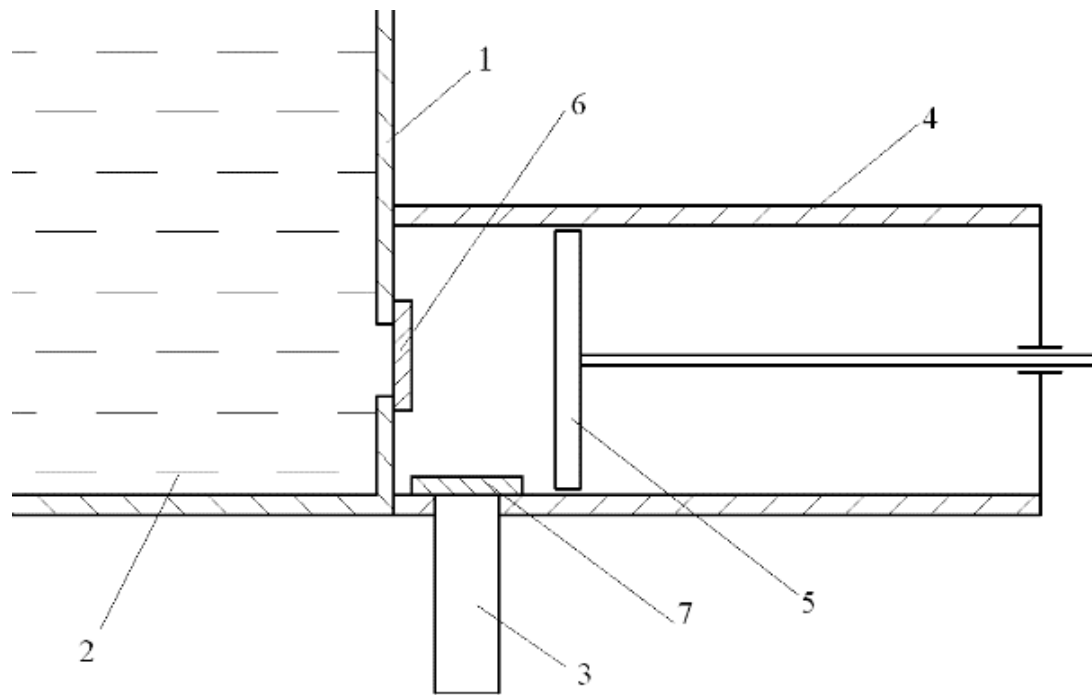


Рис. 1. Об'ємний поршковий дозатор рідкої продукції

Рух поршня силового циліндра може забезпечуватися різними механізмами: гідравлічним, пневматичним або електричним. У сучасних моделях поршкові дозатори можуть оснащуватися інтелектуальними сенсорами, які відстежують зміну в'язкості матеріалу та автоматично коригують параметри дозування.

При зворотному русі поршня клапан 6 закривається, а клапан 7 відкривається, що дозволяє накопиченій сировині надходити у вихідний отвір дозатора для подальшого лиття. У разі відкриття клапана 6 (при закритому клапані 7) поршень 5 рухається вперед, створюючи всмоктування сировини з бака в порожнину 4. Об'єм рідини, що надходить у камеру, визначається ходом поршня S та площею порожнини.

Щоб змінювати об'єм дозування V , необхідно регулювати хід поршня, що дозволяє коригувати кількість поданої сировини.

Конструкція клапанів 6 і 7 може мати певні технічні особливості. Один із можливих варіантів поступового руху клапанів, без детального опису, представлений у розділі 5.

Система обертальних клапанів продемонстрована на рис. 2.

У цій конструкції клапани 6-7 виконані у вигляді циліндра a з Т-подібним отвором, що обертається у циліндричній порожнині b .

- Коли отвір циліндра займає положення, показане на рис. 2, a , відкривається доступ для подачі сировини з бака в порожнину.

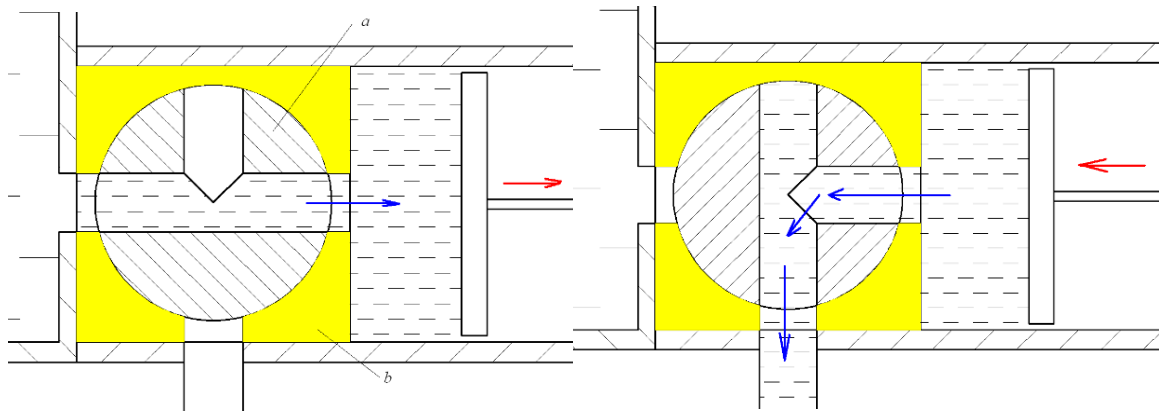


Рис. 2. Керування подачею рідини в дозаторі

При всмоктуванні і видавлюванні рідини витрачається енергія на подолання гідравлічних опорів в системі клапанів.

При цьому необхідний тиск змінюється пропорційно квадрату швидкості рідини, яка відповідає швидкості руху поршня з врахуванням співвідношення площин перерізів каналів згідно закону постійності витрат

Витрата рідини визначається добутком площини перерізу циліндру всмоктування на швидкість рідини, що відповідає швидкості поршня. Необхідна потужність процесу визначається добутком тиску на швидкість. Витрата енергії визначається інтегралом

$$Q = 0 t_{\max} p(v) \cdot v dt,$$

де $p(v)$ – тиск, що залежить від швидкості, $v(t)$ – швидкість, що може залежати від часу, $t_{\max}$ – максимальний час всмоктування. Цей час визначається необхідною продуктивністю роботи дозатору, що характеризується кількістю циклів на протязі певного часу.

В таких умовах можна поставити варіаційну задачу по забезпеченню мінімуму функціонала енергії. Результатом рішення варіаційної задачі повинна стати функція зміни швидкості всмоктування і видалення рідини дозатором при русі силового поршня. Знайдена функція може забезпечити збільшення енергоефективності роботи дозатора.

Література

1. Банга В. І. Економічна ефективність роздачі комбікормів автоматизованим індивідуальним роздавачем-дозатором. *Технічний сервіс агропромислового, лісового та транспортного комплексів*. 2019. № 15. С. 86–95.
2. Мельник В. І., Шерстюк В. С., Рідний Р. В., Лук'яненко О. В. Багатоканальний дозатор для рідких засобів хімізації. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка*. 2014. Вип. 148. С. 425–428.
3. Хімка С. Обґрунтування параметрів автоматизованого приводу вібраційного дозатора з крутильними коливаннями робочого органа. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2015. № 19. С. 102–107.

УДК 544.6

ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ХРОМУВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF ELECTROLYTIC CHROME PLATING FOR PARTS RESTORATION

Савченко Василь¹, Прищеп Володимир¹, Рябчук Павло²

¹*Поліський національний університет, бульвар Старий 7, м. Житомир, 10008*

²*Житомирський агротехнічний фаховий коледж, вул. Покровська 96, м. Житомир, 10031*

Електролітичне хромування – це технологія електрохімічного осадження шару хрому на поверхню металевої деталі, що використовується для відновлення зношених компонентів машин. За останні десятиліття метод став надзвичайно популярним завдяки здатності покращувати експлуатаційні характеристики деталей без необхідності їх повної заміни. Основна ідея процесу полягає у створенні захисного покриття, яке значно підвищує твердість, зносостійкість, термостійкість та корозійну стійкість металевих поверхонь.

В сучасних умовах виробництва, коли економічна ефективність та збереження ресурсів набувають особливого значення, електролітичне хромування дозволяє зменшити витрати на виготовлення нових деталей, зберігаючи при цьому високі експлуатаційні характеристики відновлених компонентів. Метод є особливо актуальним в автомобільній промисловості, де відновлення деталей двигунів, гільз циліндрів, клапанів та інших елементів забезпечує підвищення надійності агрегатів та продовження терміну їх експлуатації.

Наукові дослідження розглядають як параметри електролітичного процесу (концентрація розчинених речовин, температура електроліту, щільність струму), так і можливості модифікації покриття шляхом варіювання умов проведення хромування. Це дозволяє отримати покриття різних типів (блискуче, молочне, матове) із заданими експлуатаційними характеристиками. Водночас, через високу тривалість процесу та екологічні ризики, пов'язані із використанням шестивалентного хрому, метод залишається викликом для сучасної промисловості, що стимулює подальші дослідження та удосконалення технології.

Переваги електролітичного хромування:

1. Висока твердість та зносостійкість. Хромує покриття, отримане електролітичним методом, характеризується дуже високою мікротвердістю (часто понад 600–900 НВ), що дозволяє значно знизити швидкість зношування деталей. Це особливо важливо для відновлення поверхонь з невеликим зносом, наприклад, робочих поверхонь циліндрів чи клапанів.

2. Підвищена корозійна та термостійкість. Хромування забезпечує додатковий захист від корозії та впливу агресивних середовищ. Покриття стійкі до високих температур (до 800°C), що дозволяє деталям працювати в екстремальних умовах протягом тривалого часу.

3. Економічне продовження терміну служби. За даними наукових досліджень, застосування хромування може збільшити термін експлуатації деталей до 10 разів порівняно з новими елементами. Це сприяє зниженню витрат на ремонт і виробництво нових компонентів.

4. Варіативність отримуваних покриттів. Залежно від технологічних параметрів (густина струму, температура електроліту, склад розчину) можливо отримати покриття різних типів: блискуче, молочне чи матове. Кожен з цих типів має свої переваги – від оптимізації термостійкості до підвищеної здатності утримувати мастило на поверхні, що особливо актуально для деталей, які зазнають значних тертьових навантажень.

Недоліки електролітичного хромування

1. Довготривалість та висока вартість процесу. Нанесення хромового покриття потребує тривалого часу – для отримання шару товщиною близько 0,3 мм процес може тривати від 6 до 16 годин. Витрати на електроенергію та обслуговування спеціального обладнання роблять цей метод дорогим.

2. Обмеження в застосуванні. Електролітичне хромування оптимально підходить для відновлення деталей із незначним зносом (до 0,1 мм). Для компонентів з глибоким зносом метод може бути неефективним, адже при збільшенні товщини покриття зростає ризик виникнення внутрішніх напружень та деформацій.

3. Екологічні проблеми. Процес хромування супроводжується утворенням шестивалентного хрому, який є сильним канцерогеном. Це вимагає використання закритих циклів технологічного процесу та додаткових заходів з очищення стічних вод, що значно ускладнює виробничу практику та підвищує екологічну навантаженість.

4. Технічна складність контролю параметрів. Для досягнення оптимальної якості покриття необхідно суворо контролювати такі параметри, як концентрація розчинених речовин, температура електроліту та щільність струму. Невідповідність цих параметрів може призвести до нерівномірного осадження, появи дефектів і зниження експлуатаційних характеристик деталей.

Попри зазначені недоліки, електролітичне хромування залишається одним із Попри зазначені недоліки, електролітичне хромування залишається одним із найефективніших методів відновлення деталей завдяки своїм експлуатаційним перевагам. Сучасні дослідження спрямовані на оптимізацію складу електролітів, впровадження саморегулюючих систем контролю технологічних параметрів та використання нанододатків, що дозволяє отримати покриття з ще кращими механічними властивостями та зниженим впливом на довкілля. Такі новації сприятимуть зниженню вартості процесу та підвищенню його безпеки.

Електролітичне хромування продовжує залишатися важливим технологічним процесом для відновлення зношених деталей завдяки своїм унікальним експлуатаційним характеристикам. Розширені дослідження вказують на те, що отримане покриття має високу твердість, зносостійкість та корозійну стійкість, що забезпечує значне продовження терміну служби відновлених компонентів. Сучасні методи оптимізації процесу, зокрема застосування саморегулюючих електролітів та нанододатків, дозволяють адаптувати параметри хромування під конкретні виробничі вимоги, що підвищує ефективність та надійність технології.

Проте існують і серйозні недоліки, серед яких виділяються висока тривалість процесу, значні витрати ресурсів, а також екологічні ризики, пов'язані з використанням шестивалентного хрому. Ці проблеми стимулюють подальші дослідження з метою розробки більш ефективних, економічних та екологічно безпечних методів відновлення деталей.

В підсумку, електролітичне хромування – це комплексний технологічний процес, який має великий потенціал для вдосконалення як у науковому, так і в практичному плані. Подальші дослідження в галузі автоматизації контролю параметрів процесу, оптимізації складу електролітів та зниження негативного впливу на довкілля дозволять зробити цей метод ще більш конкурентоспроможним та корисним для промисловості. Отже, незважаючи на деякі недоліки, переваги електролітичного хромування в аспекті відновлення та зміцнення деталей залишаються надзвичайно важливими в сучасних умовах виробництва.

Проведений аналіз демонструє, що попри певні технологічні та екологічні обмеження, електролітичне хромування залишається однією з найперспективніших технологій відновлення деталей завдяки своїй здатності значно підвищувати експлуатаційні характеристики відновлених компонентів.

УДК 631.356

ІНЕРЦІЙНИЙ КОНВЕЄР ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТІЛ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ

INERTIAL CONVEYOR FOR TRANSPORTING CYLINDRICAL BODIES

Серілко Леонід, Морозюк Сергій, Серілко Дмитро

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Конвеєр є найбільш прогресивним видом транспорту, який забезпечує високу продуктивність та техніко-економічну доцільність при великих вантажопотоках. Аналізуючи конструкції існуючих конвеєрів можна зробити висновок, що для транспортування багатьох видів вантажів доцільно використовувати інерційні конвеєри з постійним тиском вантажу на жолоб конвеєра. На відміну від вібраційних конвеєрів, в яких транспортування відбувається за рахунок підкидань вантажу, що не припустимо при транспортуванні багатьох об'єктів [1], по жолобу інерційного конвеєра вантаж переміщується циклічно. За кожен цикл при усталеному режимі руху жолоб здійснює один зворотньо-поступальний рух, повертаючись наприкінці циклу у вихідне положення. Вантаж при цьому переміщається вперед відносно жолоба на деяку відстань, від величини якої залежить середня швидкість транспортування, а отже і продуктивність конвеєра. В циклі руху вантажа можна розглянути три етапи. На першому етапі вантаж переміщається разом із жолобом, на якому утримується за рахунок сили тертя. По закінченні цього етапу прискорення руху жолоба змінює свій напрямок і він починає гальмувати. При збільшенні величини прискорення жолоба до деякого критичного значення, сила інерції, яка діє на вантаж буде більшою за силу тертя між вантажем і жолобом отже вантаж починає ковзати по поверхні жолоба. На цьому етапі, швидкість руху вантажа буде більшою за швидкість жолоба до тих пір, доки під дією сили тертя вона не зменшиться до швидкості руху жолоба. На третьому етапі прискорення жолоба по модулю буде менше критичного значення і вантаж знову буде рухатися разом із жолобом. В результаті такої взаємодії вантажа із жолобом конвеєра, вантаж отримає деяке переміщення при поверненні жолоба у вихідне положення. Очевидно, що для збільшення величини цього переміщення, а отже і продуктивності інерційного конвеєра необхідно зменшити величину сили тертя між вантажем і жолобом на третьому етапі руху жолоба. Для цього можна використовувати різні методи, такі, як акустичні коливання [2], хвильову асиметрію [3], тощо. Разом із тим використання поперечних коливань жолоба є найбільш універсальним який можна легко реалізувати на практиці з незначними економічними затратами.

Для тіл циліндричної форми авторами запропонована конструкція інерційного конвеєра, в якій для зменшення сили тертя між вантажем і жолобом конвеєра використовуються крутильні коливання жолоба при його русі у зворотньому напрямку.

На рис.1 наведений загальний вигляд лабораторної установки в якій реалізується запропонований метод збільшення продуктивності інерційного конвеєра. Установка складається із основи 9, на якій встановлено передню 6 та задню 11 стійки. Жолоб 13 має передню 12 і задню 10 направляючі осі, за допомогою яких він кріпиться до відповідних стійок. Дана конструкція жолоба дає можливість йому обертатися та здійснювати зворотньо-поступальний рух відносно своєї осі. На передній стійці установки змонтовано привідний електродвигун 3, який за допомогою кривошипа 4 і тяги 5 приводить в рух жолоб конвеєра.

У якості джерела живлення використовується автомобільний акумулятор 1 із вихідною напругою 12В. Зміна частоти обертання двигуна відбувається за допомогою регулятора 2.

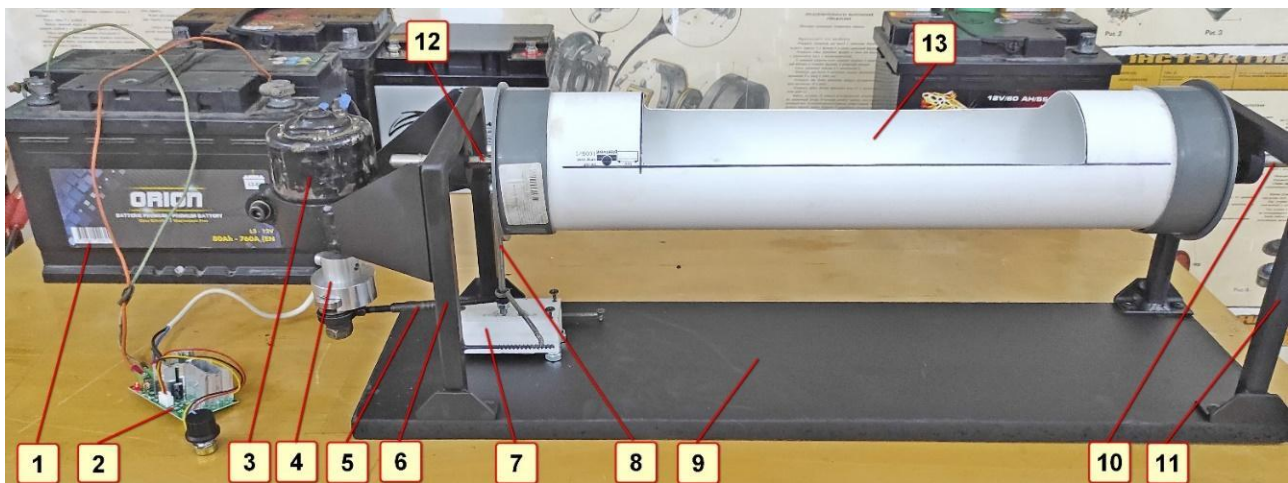


Рис. 1. Загальний вигляд лабораторної установки

Для забезпечення коливного руху жолоба конвеєра на основі установки кріпиться копір 7 у паз якого встановлено важіль приводу жолоба 8. Від форми пазу залежить амплітуда і закон коливного руху жолоба конвеєра. Схема пазу копіра показана на рисунку 2.

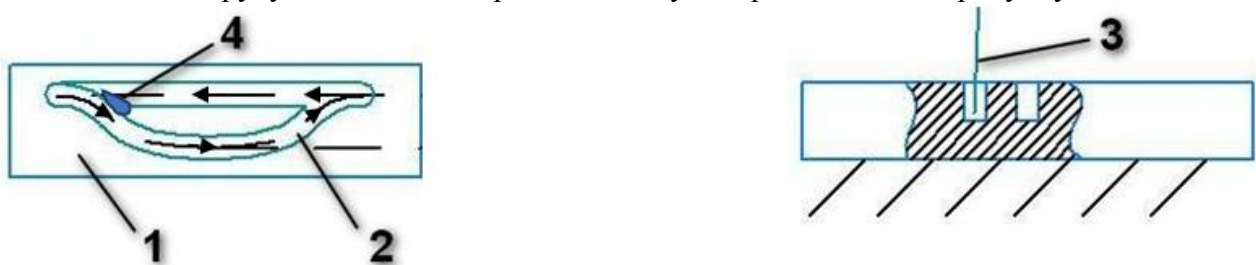


Рис. 2. Схема пазу копіра установки

Паз 2 виконаний таким чином, щоб нижній кінець важеля 3, який заходить у канавку пацу, міг рухатись по різних траєкторіях. Так при русі в одному напрямку він рухається прямолінійно, а, рухаючись у протилежному напрямку, по дузі кола, або іншій траєкторії. Для перемикання руху важеля використовується язичок 4. Завдяки такій конструкції жолоб установки в одному напрямку рухається вздовж своєї осі, а в протилежному напрямку додатково набуває коливального руху відносно своєї осі.

Частота обертання двигуна визначалась за допомогою лазерного тахометра. Переміщення вантажа в жолобі конвеєра відбувалося за допомогою відеозйомки з наступним переглядом окремих кадрів. Знаючи переміщення тіла l за проміжок часу t визначали середню швидкість руху:

$$V_{ср} = \frac{l}{t} \quad (1)$$

Результати експериментальних досліджень наведено на графіку, зображеному на рис. 3.

По осі абсцис відкладено частота повздовжніх рухів жолоба. По осі ординат відкладено середнє значення швидкості переміщення тіла по жолобу. Розсіювання вимірних значень можна пояснити не достатньо довгим жолобом, що не дозволяє досліджуваному тілу розвинути сталу швидкість руху.

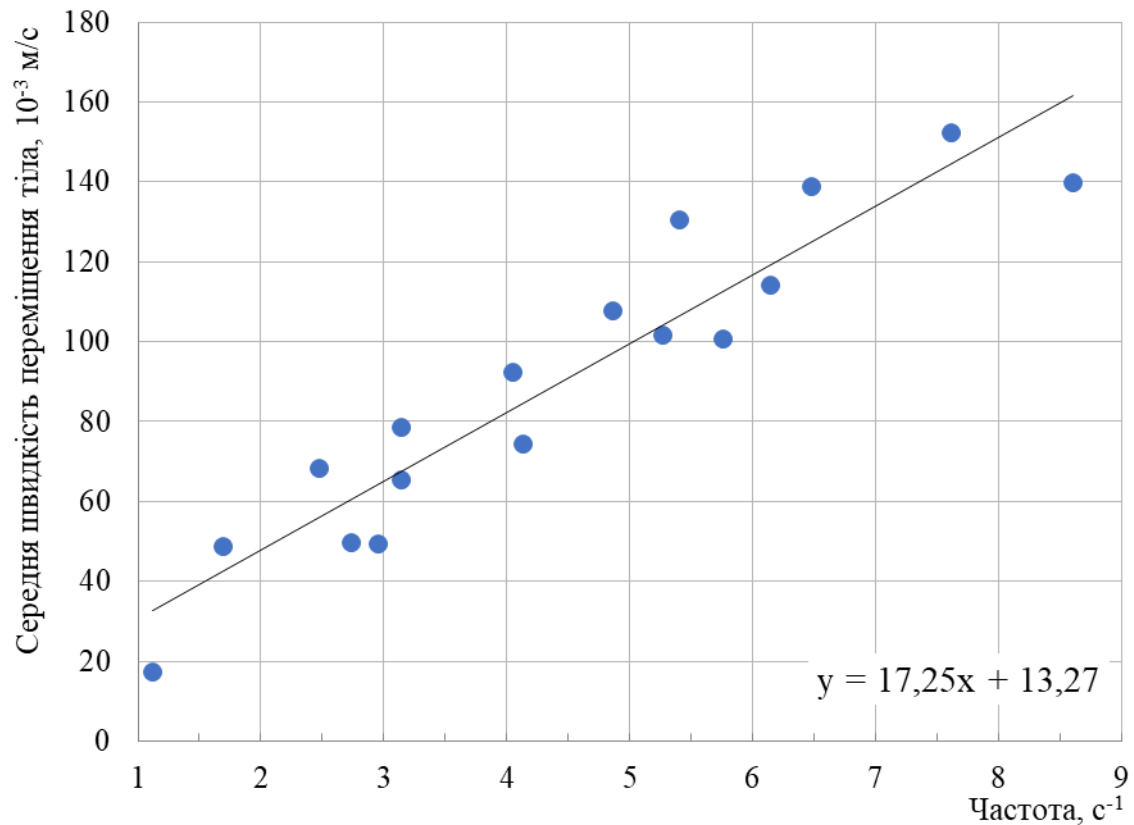


Рис. 3. Графік залежності середньої швидкості переміщення тіла по поверхні жолоба від частоти повздовжніх коливань. (Амплітуда повздовжніх коливань жолоба $A=0,02$ м, амплітуда коливань важеля $b=0,005$ м)

Апроксимуюче рівняння набуде наступного вигляду:

$$V_{\text{сер}} = 17,25x + 13,27. \quad (2)$$

За даною лінійною залежністю можна визначити середню швидкість переміщення тіла по поверхні жолоба залежно від частоти обертання привідного двигуна (циклічної частоти повздовжніх коливань жолоба).

Література

- 1 Врублевський І. Й. Визначення параметрів двомасового вібраційного транспортера великої вантажності. *Військово-технічний збірник*. 2019. № 21. С. 3–8. DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.31.2024>
- 2 Röthlisberger M.; Schuck M.; Kulmer L.; Kolar J. W. Contactless Picking of Objects Using an Acoustic Gripper. *Actuators*. 2021. Вип. 10. С. 70.
- 3 Cao H. X., Jung D., Lee H., Go G., Nan M., Choi E., Kim C., Park J., Kang B. Micromotor Manipulation Using Ultrasonic Active Traveling Waves. *Micromachines*. 2021. Vol. 12. P. 192. DOI: 10.3390/mi12020192

УДК 621.9

ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ТЕРТЯ ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФРАКЦІОНЕРА ЛИСТОСТЕБЛОВОЇ МАСИ

USE OF MATERIALS WITH LOW FRICTION COEFFICIENT AS A METHOD OF
OPTIMIZATION OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF LEAF STEM
MASS FRACTIONER

Сімаков Олег, Копчук Ігор

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

This paper examines the use of low-friction materials as a method for optimizing the structural and technological parameters of a leaf-stem mass fractionator. It is shown that the application of polymeric, ceramic, and composite materials significantly reduces equipment wear, improves operational efficiency, and lowers energy consumption. Special attention is given to the impact of material composition on biomass adhesion and the stability of the fractionator's operation.

Сучасні технології переробки рослинної маси, такі як фракціонування, та зростання потреб щодо якісної рослинної сировини обумовлює необхідність їх вдосконалення. Важливим питання є зменшення енергетичних витрат та підвищення ефективності процесу. Одним із перспективних напрямів оптимізації є застосування матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя в конструктивних елементах фракціонера. Це дозволяє зменшити втрати енергії, зменшити зношуваність деталей та підвищити загальну продуктивність установки.

Фракціонування листостеблової маси є важливим етапом у виробництві кормів, біопалива та інших продуктів сільськогосподарської промисловості. Одним з основних факторів, що впливають на роботу фракціонера є вибір матеріалів з урахуванням їх зносостійкості, коефіцієнта тертя та довговічності. Висока енергоємність процесу обумовлена значними втратами на подолання тертя між рослинною масою та робочими поверхнями фракціонера. Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя дозволяє значно скоротити ці втрати та підвищити ефективність процесу.

Фізичні процеси тертя, які відбуваються у фракціонерах, визначають ефективність транспортування, поділу та відведення компонентів. Коефіцієнт тертя залежить від ряду факторів, зокрема:

- хімічного складу та структури матеріалів контактуючих поверхонь;
- вологісного стану рослинної маси;
- шорсткості поверхонь;
- температурних умов експлуатації.

Розуміння цих факторів дозволяє підібрати оптимальні матеріали для ключових елементів фракціонера.

Оптимальними матеріалами для зменшення енергетичних витрат у фракціонерах є:

1. Полімерні матеріали – мають винятково низький коефіцієнт тертя та високу зносостійкість.
2. Керамічні покриття – зменшують зношення та забезпечують мінімальний опір руху частинок.
3. Металеві сплави з покриттям – мають підвищену стійкість до абразивного зношення.
4. Композитні матеріали – поєднують властивості полімерів і металів для досягнення оптимального тертя.

Для оцінки ефективності використання матеріалів необхідно визначити коефіцієнт тертя та силу тертя, що діє на рухомі частини фракціонера (1):

$$F_t = \mu N, \quad (1)$$

де F_t – сила тертя між матеріалами;

N – нормальна сила, що діє на поверхню контакту.

При використанні полімерних матеріалів коефіцієнт тертя $\mu = 0,05$, а нормальна сила складає 500 Н, то (2):

$$F_t = 0,05 \cdot 500 = 25 \text{ Н}. \quad (2)$$

Для порівняння, сталь $\mu = 0,2$, призводить до значно вищих втрат на тертя (3):

$$F_t = 0,2 \cdot 500 = 100 \text{ Н}. \quad (3)$$

Зменшення сили тертя в 4 рази, при виборі правильного матеріалу сприяє зниженню енергетичних витрат (рис. 1).

Проведені дослідження підтвердили ефективність використання низькотертних матеріалів. Основні результати:

1. Середнє зниження енергоспоживання на 30%.
2. Зменшення зношування робочих поверхонь у 3 рази.
3. Підвищення стабільності роботи обладнання.



Рис. 1. Порівняння коефіцієнтів тертя для різних матеріалів

Впровадження матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя в конструкцію фракціонера вимагає змін у:

1. Конструкції поверхонь тертя та напрямних елементів.
2. Методиці кріплення полімерних покриттів.
3. Способах обслуговування та ремонту обладнання.

Зниження сил тертя дозволяє скоротити споживання енергії, що веде до підвищення загальної ефективності процесу (рис. 2).

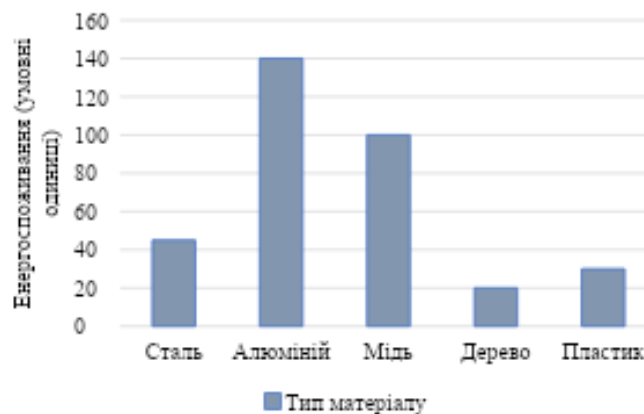


Рис. 2. Залежність енергоспоживання від типу матеріалу

Отже, при проведенні порівняльного аналізу продуктивності фракціонерів із традиційними та інноваційними матеріалами, можна прийти до попередніх висновків, що застосування полімерних матеріалів, кераміки та композиційних матеріалів у конструкції фракціонера дозволяє значно знизити рівень зносу деталей та зменшити витрати енергії, необхідної для подолання опору руху, що сприяє зниженню експлуатаційних витрат.

Керамічні матеріали також мають низький коефіцієнт тертя у поєднанні з високою зносостійкістю та термостійкістю. Вони ефективні у вузлах, що піддаються значним навантаженням і впливу абразивного зношування. Композитні матеріали, які поєднують переваги полімерів та металів, дають можливість створення конструкцій, що відзначаються високою міцністю при низькому коефіцієнті тертя. Це робить їх особливо корисними в умовах роботи фракціонерів, де важлива комбінація механічної міцності, довговічності та мінімального опору руху. Використання матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя також сприяє зменшенню налипання біомаси на поверхнях робочих органів фракціонера. Це особливо актуально для обробки листостеблової маси, яка містить значну кількість вологи та смолистих речовин, що можуть ускладнювати процес фракціонування.

Оптимізація матеріального складу деталей дозволяє мінімізувати ці ефекти, що позитивно впливає на стабільність і продуктивність обладнання. Крім того, застосування таких матеріалів сприяє покращенню екологічної безпеки виробничого процесу. Завдяки зниженню коефіцієнта тертя зменшується необхідність у використанні мастильних матеріалів, що зменшує ризик забруднення навколишнього середовища.

Загалом, можна зробити висновок, що використання матеріалів з низьким коефіцієнтом тертя є ефективним методом оптимізації конструктивно-технологічних параметрів фракціонера листостеблової маси. Це дозволяє підвищити ефективність роботи обладнання, знизити витрати на обслуговування, покращити якість кінцевого продукту та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Впровадження таких технологій є перспективним напрямком розвитку сільськогосподарського машинобудування та сприяє підвищенню ефективності переробки біомаси.

Література

1. Petrov V., Kuznetsov I. Friction Reduction Technologies in Agricultural Machinery. *Journal of Agricultural Engineering*. 2019.
2. Новицький А. В., Ружило З. В. Трибологічні аспекти використання полімерних матеріалів у сільськогосподарській техніці. *Науковий вісник НУБіП України*. 2021. Вип. 320. С. 112–118.
3. Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник / Войтюк Д. Г., Дубровін В. О., Іщенко Т. Д. та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Видавничий центр НУБіП України, 2015. 528 с.

УДК 626.6.9:621.7.01

ПРИСТРІЙ ДЛЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ВИЛУЧЕННЯ МУЛУ В КОЛОДЯЗЯХ ТА ВІДСТІЙНИКАХ НА БАЗІ МАШИНИ МОК-10

A DEVICE FOR HYDRODYNAMIC LOOSENING AND SLUDGE REMOVAL IN WELLS AND SETTLING TANKS BASED ON THE MOK-10 MACHINE

Сиротинський Олександр, Серілко Дмитро, Онищук Володимир

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

The publication presents a device for hydrodynamic loosening and removal of sediment in wells and settling tanks based on the MOK-10 machine, which will increase the perimeter of sludge erosion (depending on the perimeter of the well or settling tank) and increase the efficiency of the machine as a whole.

Очищення стічних вод міст, населених пунктів та меліоративних систем проводиться для запобігання забрудненню навколишнього природного середовища, замуленню меліоративних систем (поверхневих водних об'єктів, ґрунту, підземних вод, повітря) та запобігання шкідливому впливу на оточуюче середовище. Масове надходження великої кількості неочищених стічних вод в природне середовище призводить до погіршення стану джерел питного водопостачання, їх поступового забруднення [1].

У зв'язку з цим колодязі та відстійники, як важливі елементи каналізаційних очисних споруд та меліоративних систем, є важливою та невід'ємною частиною єдиного циклу обороту води в процесах людської діяльності. Стічні води на очисних спорудах та меліоративних системах проходять послідовні етапи механічного, біологічного очищення та знезараження, звільняючись від різних видів забруднень: мінерального, органічного, бактеріального, біологічного; захворювання тощо.

Машина для очищення дренажних колодязів МОК-10 це спеціалізована техніка призначена для очищення колодязів чи відстійників від щільних відкладень таких як пісок, жир, мулові нанесення, вохра тощо та їх транспортування до місць утилізації. Машина МОК-10 агрегується з трактором Т-150К [2; 3].

Основним робочим органом машини є пристрій для гідродинамічного розпушення мулу в колодязях. Недоліком існуючого пристрою є те, що частина мулових наносів буде виштовхуватися розмивним потоком за межі зони всмоктування та осідати біля стінок колодязя або відстійника, а отже, буде проводитися локальна розробка мулу. Дана конструкція приводить до необхідності постійного переміщення пристрою по периметру колодязя чи відстійника та, як наслідок, до падіння продуктивності машини й збільшення енерго- та трудозатрат машини. З метою зменшення дії даних факторів та підвищення ефективності роботи пристрою для гідродинамічного вилучення мулу в колодязях та відстійниках, який складається з забірної рукави, в нижній частині якого встановлено кінцевий патрубок з гирлом, кільцевого колектора, на якому встановлені зовнішні та внутрішні сопла, відрізняється тим, кільцевий колектор з соплами встановлений шарнірно з можливістю розкриття та закриття.

Дане конструктивне рішення дало змогу розширити периметр розмиву мулових наносів в залежності від параметрів колодязя чи відстійника.

На кафедрі БДММ НУВГП, була розроблена та запатентована конструкція пристрою для розпушення мулу в колодязях на базі машини МОК-10, яка направлена на збільшення периметру розмиву мулових наносів (в залежності від параметрів колодязя чи відстійника) і підвищення ефективності роботи машини в цілому.

Пристрій для розпушування мулу в колодязях та вилучення мулу (гідророзпушувач) (рис. 1) [4] встановлений на машині для очищення дренажних колодязів МОК-10 [2].

Пристрій складається з забірного рукава 1, кінцевого патрубку 2, кільцевого колектора 3, зовнішніх сопел 4, внутрішніх сопел 5, гирла 6, відхиляючих утримувачів 7; гнучкого напірного трубопроводу 8, гідроциліндрів підйому і опускання штанг 9.

Пристрій обладнаний двома додатковими гідроциліндрами 9, що дозволяє піднімати та опускати штанги, які в свою чергу розширюють (позиція II, рис. 1) або приводять в вихідне положення (позиція I, рис. 1) в периметрі кільцевий колектор 3.

Вода з відсіку мулової води машини за допомогою відцентрового насоса подається в кільцевий колектор 3 (див. рис. 1), а від нього – до зовнішніх 4 та внутрішніх 5 струминоформуючих сопел-насадок.

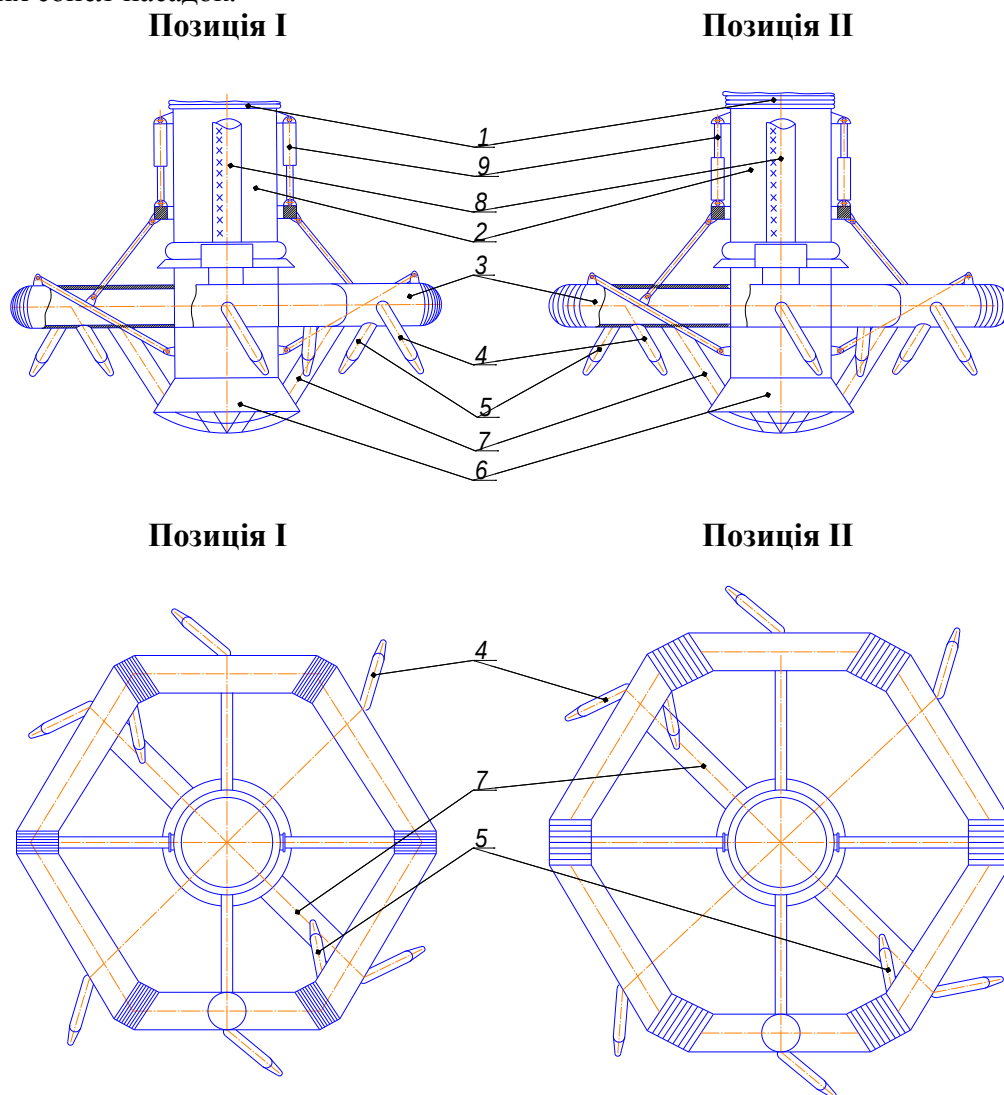


Рис. 1. Пристрій для розпушення мулу в колодязях: Позиція I – складене (вихідне) положення;

Позиція II – розширене положення; 1 – забірний рукав; 2 – кінцевий патрубок;

3 – кільцевий колектор; 4 – зовнішні сопла; 5 – внутрішні сопла; 6 – гирло; 7 – відхиляючі утримувачі; 8 – гнучкий напірний трубопровід; 9 – гідроциліндри підйому та опускання штанг

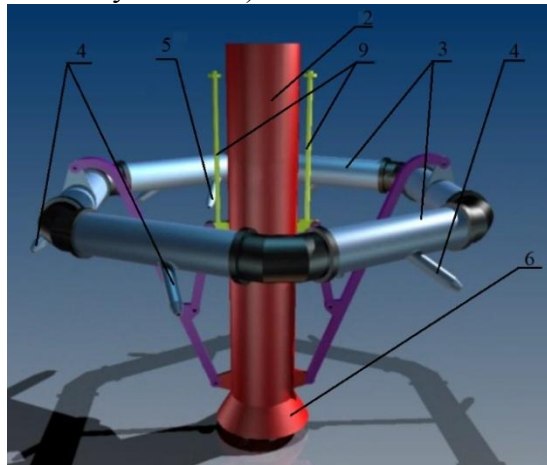
Струмини, які виходять із внутрішніх сопел 5 стикаються з поверхнями відхиляючих утримувачів 7, які встановлені під кутом до дотичної та поздовжньої осей кінцевого патрубку 2. За рахунок такої взаємодії змінюється характер руху потоку, який перетворюється в вихровий, направлений вниз під кутом горизонту та до гирла 6 кінцевого патрубку 2.

У відстійнику колодязя чи відстійника формується два вихрових потоки: зовнішній та

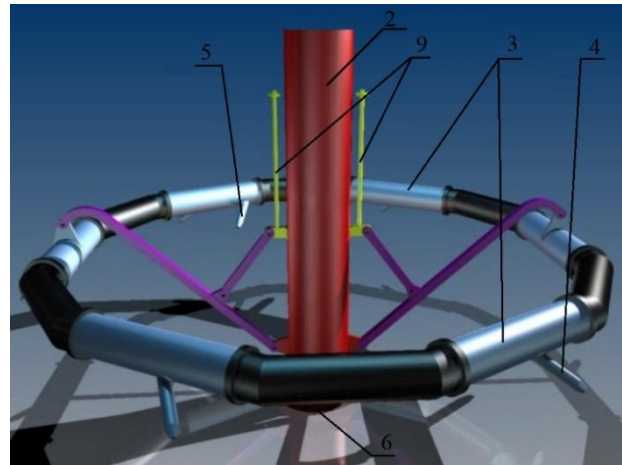
внутрішній, які, підсилюючи один одного, сприяють більш активному розпушенню наносів і направленню потоків пульпи до гирла кінцевого патрубка 2, – через забірний рукав 1 в відсік мулу цистерни машини.

Дана модернізація дає змогу розширити периметр розмиву мулових наносів (в залежності від діаметра дренажного колодязя чи відстійника – від 1,0 до 2,5 м).

Крім того, в роботу по очищенню колодязя чи відстійника входять операції з вакуумного підйому пульпи (відходів), їх освітлення, повторного використання технологічної води в замкненому технологічному циклі та утилізації наносів безпосередньо по полю (в місцях утилізації).



А – позиція I



Б – позиція II

Рис. 2. Пристрій для розпушення мулу в колодязях (3D – модель в зборі): **А** – Позиція I – складене (вихідне) положення; **Б** – Позиція II – розширене положення

Література

1. Природоохоронні технології : навч. посіб. *Методи очищення стічних вод* / Петрук В. Г., Северин Л. І., Васильківський І. В., Безвозюк І. І. Вінниця : ВНТУ, 2014. Ч. 2. 258 с.
2. А.с. 1736218 СССР, МКИ Е 03 А 7/10. Машина для очистки дренажных колодцев / А. А. Сиротинский и др. (СССР). № 4184969/29.
3. Сиротинський О. А. Розробка та обґрунтування параметрів технологій гідромеханізованого очищення дренажних колодязів. Рівне, 1994. 160 с.
4. Пристрій для розпушення мулу в колодязях: пат. України № 143344: заявл. 27.01.20; опубл. 27.07.20, Бюл. № 14 / Сиротинський О. А., Сиротинська А. П., Дідух І. В., Серілко Д. Л., Онищук В. А., Антончук А. А., Смалько М. М.

УДК 621.43-032

ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ

DIAGNOSTICS OF THE TECHNICAL CONDITION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE BY THE CHEMICAL COMPOSITION OF USED MOTOR OIL

Стадник Олександр, Морозюк Сергій, Кучерук Мирослава

Національний університет водного господарства та природокористування, вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028

Двигуни внутрішнього згорання мають важливе значення у різних галузях промисловості, зокрема у сільському господарстві та на транспорті, тому підтримка їх оптимального технічного стану є вкрай важливою. Поточна діагностика дозволяє уникнути несподіваних відмов, зменшити час простою обладнання та продовжити термін служби двигуна. Одним з ефективних та економічно вигідних способів оцінки стану двигуна є аналіз відпрацьованої моторної оливи. Хімічний склад оливи, зокрема вміст і концентрація мінеральних компонентів, дає важливу інформацію про внутрішнє зношування двигуна та можливі проблеми.

Рівень накопичення металів у моторній оливі, що виникають внаслідок зношення пар тертя двигуна внутрішнього згорання, може слугувати діагностичною ознакою його технічного стану. Під час роботи двигуна, залежно від режиму змащення тертьових поверхонь, утворюються частинки, що є продуктами зношення деталей різних розмірів і форм.

Частинки продуктів зношення утворюються в залежності від режиму мащення: розміром до 5 мкм – при нормальному гідродинамічному режимі; розміром до 15 мкм – при граничному режимі; розміром до 150 мкм – при перехідному режимі мащення; розміром більше 150 мкм – при перехідному режимі з корозійно-механічним зношуванням; розміром до 1000 мкм – при катастрофічному зношенні [1; 2].

Згідно зі стандартом ASTM D7684 [3], визначаються такі основні форми частинок зношення поверхонь деталей: *пластинки з гладкою поверхнею* товщиною до 1 мкм і довжиною 5–15 мкм, які утворюються при нормальному зношенні; *спіральні частинки* шириною 2–5 мкм і довжиною 25–100 мкм, що з'являються внаслідок абразивного зношення. Підвищена концентрація таких частинок у моторній оливі є особливо небезпечною; *сферичні частинки* діаметром 1–10 мкм, що утворюються в тріщинах підшипників або зубчастих коліс через зношення від втоми; *пластинки з паралельними борознами на поверхні* товщиною до 3 мкм і розміром до 200 мкм, що є наслідком сильного зношення при заїданні в умовах жорсткого ковзання; *пластівці*, які є тонкими частинками розміром 20–50 мкм з отворами, що утворюються при втомленісному зношенні підшипників кочення; *великі частинки*, що утворюються у зубчастих передачах в результаті втомленісного зношення.

Гранична концентрація мінеральних частинок – основних продуктів зношення у оливах різних вузлів та систем транспортних засобів представлено у табл. 1 [1; 4]. Гранична концентрація мінеральних частинок, що є продуктами зношення у моторній оливі дизельного двигуна внутрішнього згорання при якій рекомендують заміну становить для заліза – до 150 ppm, міді – до 50 ppm, хрому – до 25 ppm [1; 4].

Мінеральна частина моторної оливи, крім продуктів зношення деталей двигуна внутрішнього згорання є основою більшості присадок. Основними хімічними елементами мінеральної частини моторної оливи є Fe, Cu, Cr та інші [4].

Таблиця 1

Гранична концентрація мінеральних частинок – основних продуктів зношення у оливах різних вузлів та систем транспортних засобів

	Гідросистема	Коробка передач	Дизельний ДВЗ	Бензиновий ДВЗ	Трансмісія	Диференціал
Fe	75	300	150	300	300	1000
Cr	5	–	25	40	10	–
Pb	20	–	50	–	50	–
Cu	75	250	50	75	400	250
Ti	10	250	25	40	20	250
Al	25	250	30	40	50	250
Ni	5	–	10	15	20	–

Сьогодні методи рентгенофлуоресцентного аналізу є доступними і спеціальні функції приладів дозволяють виконувати аналіз безпосередньо рідини [5], що може бути використано для швидкої діагностики стану двигуна внутрішнього згорання у процесі заміни моторної оливи.

Метою роботи є аналіз можливості використання рентгенофлуоресцентного методу визначення хімічного складу мінеральної частини моторної оливи у якості діагностичної ознаки технічного стану двигуна внутрішнього згорання на основі граничної концентрації матеріалів зношення деталей.

Результати дослідження. Для досліджень були відібрані зразки свіжої та відпрацьованої моторної оливи ELF 5W-40 900 FT Evolution (повнозольна класу A3/B4), що відпрацьовала на дизельному ДВЗ K9K 1,5 DCI автомобіля Renault Scenic 2 на інтервалі пробігу з 216621 км до 226942 км, тобто 10321 км. Для обох зразків був виконаний аналіз зольності відповідно до стандартної методики. Отримані зразки золи були подрібнені до крупності частинок менше 100 мкм та досліджені методом рентгенофлуоресцентного аналізу на аналізаторі EXPERT 3L виробництва НПП «Інститут аналітичних методів контролю «ІНАМ» (Україна). Отримані результати з визначення зольності свіжої та відпрацьованої моторних оливи та хімічних складів золи наведені у табл. 2.

Таблиця 2

Результати визначення зольності та рентгенофлуоресцентного аналізу золи свіжої та відпрацьованої моторної оливи

	Свіжа моторна олива		Відпрацьована моторна олива	
Зольність, %	0,944		1,001	
Назва елемента	Масова частка у золі, %	Масова частка у моторній оливі, ppm	Масова частка у золі, %	Масова частка у моторній оливі, ppm
Ca	31,705	2993,0	29,088	2911,7
Zn	12,503	1180,3	12,546	1255,9
P	8,459	798,5	9,572	958,2
S	7,440	702,3	8,698	870,7
Fe	0,117	11,0	1,272	127,3
Si	2,631	248,4	1,066	106,7
Cu	–	–	0,078	7,8
Cr	–	–	0,062	6,2
Pb	–	–	0,007	0,7

У відпрацьованій моторній оливі спостерігається суттєве збільшення масових часток заліза, міді та хрому.

З масляного фільтра був вилучений фільтрувальний матеріал і витриманий протягом доби загорнутим у паперовий фільтр для видалення надлишку моторної оливи. Для

отриманого фільтрувального матеріалу із залишками моторної оливи було визначено зольність та виконано рентгенофлуоресцентний аналіз золи. Отримані результати наведені у табл. 3.

Таблиця 3

Результати визначення зольності та рентгенофлуоресцентного аналізу золи масляного фільтра

Зольність, %	2,090	
Назва елемента	Масова частка у золі, %	Масова частка у просоченому оливою фільтрувальному матеріалі, ppm
Ca	26,115	5458,0
Zn	8,156	1704,6
P	5,416	1131,9
S	6,790	1419,1
Fe	12,694	2653,0
Si	2,064	431,4
Cu	1,391	290,7
Cr	0,950	198,6

Після відпрацювання двигуна внутрішнього згорання K9K 1,5 DCI автомобіля Renault Scenic 2 на інтервалі пробігу у 10321 км масова частка Fe у моторній оливі збільшилася у 11,6 рази до 127,3 ppm не досягнувши граничних меж для дизельного двигуна. Таке збільшення концентрації Fe у моторній оливі свідчить про наявність дрібних частинок заліза, що не вловлюють масляні фільтри, фільтрувальні елементи яких мають розмір пор 3–20 мкм. Підвищена масова частка Fe та Cu на фільтрі свідчить про перенесення моторною оливою частинок деталей негравітаційної крупності, розміри яких більші за пори у фільтрувальному матеріалі. Досліджувана моторна олива не має перевищень граничної концентрації хімічних елементів, що відповідають продуктам зношення, отже технічний стан двигуна є придатним до експлуатації.

Отже, моніторинг хімічного складу мінеральної частини моторної оливи за допомогою рентгено-флуоресцентного аналізу дає можливість вчасно виявити деталі двигунів внутрішнього згорання, зношення яких є критичним і попередити критичне руйнування важливих деталей, що можуть привести до більш серйозних наслідків.

У наступних дослідженнях доцільно більш детально розглянути закономірності накопичення хімічних елементів у моторній оливі у періоди між замінами

Література

1. Корнеева В. К., Капцевич Н. М. и др. Аналитическая феррография моторного масла – один из основных методов контроля износа трибоспряжений ДВС. *Агропанорама*. 2023. № 4. С. 26–33. URL: <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-158-4-26-33> (дата звернення: 20.03.2025).
2. Стадник О. С., Морозюк С. В. Дослідження відпрацьованої моторної оливи дизельного двз методом рентгенофлуоресцентного аналізу. *Інноваційні підходи у відновленні транспортної інфраструктури в особливих умовах воєнного стану: виклики та перспективи* : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, 23-24 жовтня 2024 р.). Київ : НТУ, 2024. С. 151–153.
3. Standard Guide for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants: ASTM D7684-11 (Reapproved 2016). ASTM International, 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959. United States, 2016. 10 p.
4. How To Assess Wear Problems Using Oil Analysis. Machinery Lubrication. URL: <https://www.machinerylubrication.com/Read/653/wear-oil-analysis> (дата звернення: 20.03.2025).
5. Мобільний прецизійний аналізатор EXPERT 3L / IHAM. URL: <https://inam.kiev.ua/expert-3l-ua/> (дата звернення: 20.03.2025).

УДК 624.132.3

ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВРАХУВАННЯ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ В МЕТОДИЦІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ І ТЯГОВОГО ОПОРУ ДВОЯРУСНИХ РОЗПУШУВАЧІВ ҐРУНТУ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА КРИТИЧНІЙ ГЛИБИНІ РІЗАННЯ

JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF CONSIDERING CUTTING SPEED IN THE METHODOLOGY FOR CALCULATING PARAMETERS AND DRAFT RESISTANCE OF TWO-TIER SOIL LOOSENERS OPERATING AT THE CRITICAL CUTTING DEPTH

Степанюк Богдан, Лук'янчук Олександр

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Сучасна техніка для обробки ґрунту розробляється з урахуванням підвищення вимог до продуктивності. Виробники сільськогосподарських і будівельних машин постійно збільшують швидкість роботи агрегатів, що зумовлює необхідність врахування цих швидкостей при конструюванні ґрунторозробного обладнання для досягнення максимальної продуктивності робочого процесу.

Для двоярусного критичноглибинного розпушувача при заданій ширині захвату (L) та суцільному розпушенні ґрунту основні параметри розраховуються у такій послідовності [1]:

1. Визначення кута нахилу бічних стінок прорізу до горизонту (γ);
2. Розрахунок ширини ножів (b) у верхньому та нижньому ярусі, для заданої глибини розпушення ґрунту (H);
3. Визначення критичної глибини різання ($h_{кр}$) для наявних способів різання;
4. Визначення відстань між ґрунторозробними органами двоярусного критичноглибинного розпушувача у горизонтальній площині (s);
5. Визначення кута зсуву ґрунту в поздовжній площині (ψ) у верхньому та нижньому ярусі для наявних способів різання;
6. Визначення кутів (ρ, δ, λ), які утворюються між боковою площиною сколювання та верхньою площиною ґрунту;
7. Визначення довжини лемешів робочих органів (l_c);
8. Визначення максимальної сили різання для всіх наявних способів різання (P);
9. Визначення кількості ґрунторозробних органів (n) у верхньому та нижньому ярусі;
10. Визначення дійсної ширини захвату обладнання (L');
11. Визначення сумарної сили різання (P_{Σ});
12. Підбір базового тягача відповідно до максимальної сумарної сили різання.

Розрахунок цих параметрів не враховує змін фізико-механічних властивостей ґрунту під час його динамічного руйнування. Відомо [1–7], що зі збільшенням швидкості різання змінюються такі характеристики: критична глибина різання ($h_{кр}$), розподіл нормального тиску ґрунту на ніж (q), кут нахилу бічних стінок прорізу до горизонту (γ) та відповідно кути (ρ, δ, λ), які утворені боковою площиною сколювання та вертикальною площиною для різних способів різання та. Зі зміною цих характеристик відповідно змінюється і максимальна сила різання для всіх наявних способів різання.

А саме, зі збільшенням швидкості різання від низької ($\vartheta \approx 0$) до критичної ($\vartheta = \vartheta_{кр.}$), яка для оптимальних кутів різання від ($\alpha_p = 20^\circ$) до ($\alpha_p = 60^\circ$) і різних типів ґрунту є різною та лежить в межах [1; 4]:

- для твердого суглинку – від 3,68 м/с до 1,551 м/с (при збільшенні кута різання критична швидкість зменшується);
- для напівтвердого суглинку – від 5,064 м/с до 2,01 м/с;
- для тугопластичної глини – від 6,468 м/с до 2,556 м/с;
- для твердого суглинку – від 6,886 м/с до 2,776 м/с;
- для напівтвердої глини – від 7,835 м/с до 3,118 м/с.

Крім того, зі збільшенням модуля пружності (E_{np}) критична швидкість різання зменшується.

Розподіл нормального тиску на фронтальну (лобову) площину ножа (q) за критичних умов різання ($h = h_{кр}$) при ширині ножа ($b = 0.06$ м) змінюється залежно від збільшення кута різання від ($\alpha_p = 20^\circ$) до ($\alpha_p = 50^\circ$) та швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.}$) для твердого супіску наступним чином [1, 5, 6]:

- для кута різання ($\alpha_p = 20^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 3,68$ м/с) тис ґрунту на ніж (q) зростає від 0,186 МПа до 0,424 МПа;
- для кута різання ($\alpha_p = 30^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,607$ м/с) тис ґрунту на ніж (q) зростає від 0,173 МПа до 0,385 МПа;
- для кута різання ($\alpha_p = 40^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,074$ м/с) тис ґрунту на ніж (q) зростає від 0,161 МПа до 0,353 МПа;
- для кута різання ($\alpha_p = 50^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 1,757$ м/с) тис ґрунту на ніж (q) зростає від 0,148 МПа до 0,322 МПа.

Критична глибина різання ($h_{кр}$) при ширині ножа ($b = 0,06$ м), збільшенні кута різання від ($\alpha_p = 20^\circ$) до ($\alpha_p = 50^\circ$) та зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.}$) для твердого супіску змінюється наступним чином [1; 5; 6]:

- для кута різання ($\alpha_p = 20^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 3,68$ м/с) критична глибина різання ($h_{кр}$) зростає від 0 м до 0,78 м;
- для кута різання ($\alpha_p = 30^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,607$ м/с) критична глибина різання ($h_{кр}$) зростає від 0 м до 0,6 м;
- для кута різання ($\alpha_p = 40^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,074$ м/с) критична глибина різання ($h_{кр}$) зростає від 0 м до 0,463 м;
- для кута різання ($\alpha_p = 50^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$ м/с) до

($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 1,757$ м/с) критична глибина різання ($h_{кр.}$) зростає від 0 м до 0,351 м.

Кут нахилу бокових стінок прорізу до горизонту (γ) при змінні кута різання від ($\alpha_p = 20^\circ$) до ($\alpha_p = 50^\circ$) та зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.}$) для твердого супіску змінюється наступним чином [1; 7]:

- для кута різання ($\alpha_p = 20^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 3,68$ м/с) кут нахилу бокових стінок прорізу до горизонту (γ) зростає від $50^\circ 46'$ до $57^\circ 46'$;

- для кута різання ($\alpha_p = 30^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,607$ м/с) кут нахилу бокових стінок прорізу до горизонту (γ) зростає від $50^\circ 34'$ до $57^\circ 26'$;

- для кута різання ($\alpha_p = 40^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,074$ м/с) кут нахилу бокових стінок прорізу до горизонту (γ) зростає від $50^\circ 30'$ до $57^\circ 09'$;

- для кута різання ($\alpha_p = 50^\circ$): зі збільшенням швидкості різання від ($\vartheta \approx 0$) до ($\vartheta = \vartheta_{кр.} = 2,074$ м/с) кут нахилу бокових стінок прорізу до горизонту (γ) зростає від $50^\circ 36'$ до $57^\circ 06'$.

Зі зміною кута нахилу бокових стінок до горизонту (γ) відповідно змінюються і кути (ρ, δ, λ), які утворені між боковою площиною сколювання та верхньою площиною.

З урахуванням того, що швидкість різання впливає на основні параметри, за якими вираховується максимальна сила різання для всіх наявних способів різання в даному обладнанні, а також на оптимальне розміщення ріжучих елементів один відносно одного, доцільно розробити нову методику розрахунку параметрів і тягового опору критичноглибинних двоярусних ґрунторозпушувачів з урахуванням критичної швидкості різання.

Література

1. Кравець С. В., Скоблюк М. П., Стіньо О. В., Зоря Р. В. Критичноглибинні двоярусні ґрунторозпушувачі : монографія. Рівне : НУВГП, 2018. 235 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/10061/> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Кравець С. В. Теорія руйнування робочих середовищ. Рівне : НУВГП, 2008. 124 с. URL: <https://ep3.nuwm.edu.ua/2113/> (дата звернення: 01.04.2025).
3. Кравець С. В., Лук'янчук О. П., Степанюк Б. І. Вибір та визначення фізичних і механічних характеристик ґрунту у залежності від його природної вологості. *Сучасні технології та досягнення інженерних наук в галузі гідротехнічного будівництва та водної інженерії* : зб. наук. праць. Херсон, Кропивницький, 2024. С. 97–100. URL: https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_04_06_24.pdf (дата звернення: 01.04.2025).
4. Степанюк Б. І., Лук'янчук О. П., Кравець С. В. Визначення критичної швидкості різання ґрунту. *Perspectives of contemporary science: theory and practice* : міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, Україна 26-28.05.2024 р. Львів, 2024. С. 599–604. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/05/PERSPECTIVES-OF-CONTEMPORARY-SCIENCE-THEORY-AND-PRACTICE-26-28.05.24.pdf> (дата звернення: 01.04.2025).

5. Степанюк Б. І., Холоденко В., Кравець С. В., Лук'янчук О. П. Визначення динамічного закону розподілу нормального тиску на фронтальну (лобову) площину землерийного робочого органа. *Інноваційні рішення по підвищенню ефективності будівельних, дорожніх і підйомно-транспортних машин* : всеукр. наук.-практ. конф., м. Харків Україна 16 жовтня 2024 р. Харків, 2024. Вип. 11. С. 88–93. URL: <https://drive.google.com/file/d/1-gNfaI4iL9DSsaVGY6lq9ToaKoo1CDEFI/view> (дата звернення: 01.04.2025).

6. Степанюк Б. І., Холоденко В., Лук'янчук О. П., Кравець С. В. Визначення динамічного закону розподілу нормального тиску на фронтальну (лобову) площину землерийного робочого органа. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки*. 2024. Вип. 3 (107). С. 290–296. DOI: <https://ep3.nuwm.edu.ua/33655/1/Vt3202429.pdf>

7. Степанюк Б. І., Лук'янчук О. П., Кравець С. В. Вплив швидкості різання ґрунту на кут нахилу бічних стінок ножового прорізу до горизонту. *Perspectives of contemporary science: theory and practice* : міжнар. наук.-практ. конф., м. Львів, Україна 14–16.10.2024 р. Львів, 2024. С. 398–405. URL: <https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/10/PERSPECTIVES-OF-CONTEMPORARY-SCIENCE-THEORY-AND-PRACTICE-14-16.10.2024.pdf> (дата звернення: 01.04.2025).

УДК 62-82:631.659

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГІДРАВЛІЧНОМУ ПРИВОДІ РОЗКЛАДАННЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ

RESEARCH OF DYNAMIC PROCESSES IN THE HYDRAULIC DRIVE OF THE
DEPLOYMENT OF A WIDE-RANGE AGRICULTURAL UNIT

Шаргородський Сергій, Кондратюк Дмитро

Вінницький національний аграрний університет, Україна, Вінниця

Доповідь присвячена актуальному питанню дослідження процесів, що протікають у гідравлічній системі приводу секцій широкозахватного сільськогосподарського агрегату при переведенні його із транспортного положення у робоче. Розроблена математична модель, що враховує динаміку, та дозволяє виконати аналіз процесів у системі для різного співвідношення її параметрів.

Як відомо, сільське господарство є пріоритетною галуззю економіки нашої держави. Тому виробники сільськогосподарської продукції потребують сучасних економічних і зручних агрегатів і машин. Як відомо одним із недоліків широкозахватних агрегатів є складність виконання маневрів, завдяки їх конструктивним особливостям. Виконання поворотів, розворотів, під час робочого руху виконується шляхом переведення агрегату у транспортний стан. Швидке виконання даної операції можливе завдяки застосуванню гідравлічних приводів.

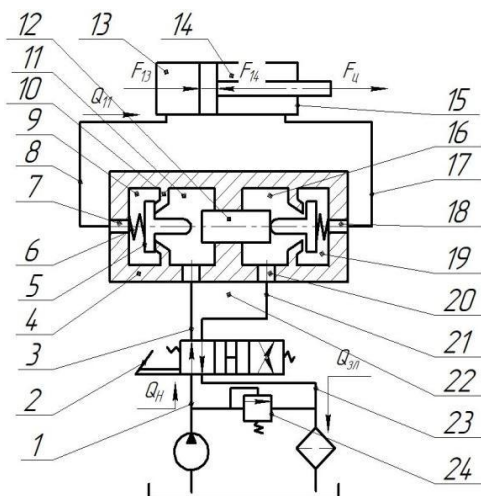


Рисунок. Гідравлічна схема приводу переведення транспортного агрегату із транспортного положення у робоче

Як випливає з аналізу літературних джерел, найбільш ефективним способом регулювання швидкості руху робочих органів, для використання в гідросистемах позиціонування деталей агрегатів сільськогосподарських машин, є гідрозамок.

Гідравлічна схема запропонованого приводу представлена на рис. 1, де 1, 3, 8, 17, 21, 23 – магістралі подачі і відведення робочої рідини; 2 – розкидач; 4, 7, 18, 20 – впускний і вихідний канали робочої рідини в корпусі гідрозатвору; 5 – запірний елемент зворотного клапана; 6 – пружини зворотного клапана; 9, 11, 16, 19 – робочі порожнини гідрозатвору; 10 – сидла зворотних клапанів; 12 – плунжер; 13, 14 – порожнина гідроциліндра; 15 – гідроциліндр; 22 – вузол гідрозатвору, 24 – запобіжний клапан.

Для побудови математичної моделі ми будемо використовувати такі припущення:

- подача насоса не змінюється під час роботи приводу;
- гідросистема працює при фіксованому температурному режимі, тому в'язкість робочої рідини вважаємо постійною величиною;
- трубопроводи і гідропроводи вважаються абсолютно жорсткими;
- для врахування стисливості робочого тіла за рахунок розчинених у ньому газів введено приведення модуль пружності системи;
- ми вважаємо, що немає затримки при активації гідравлічного обладнання.

Ми будемо нашу математичну модель на основі рівнянь нерозривності робочої рідини та другого закону Ньютона.

Математична модель гідравлічної системи складається із рівнянь балансу витрат між порожнинами та рівнянь балансу сил, що прикладені до елементів гідравлічної системи.

Рівняння балансу витрат робочої рідини

$$Q_{13} = kQ_{14} \quad (1)$$

$$Q_{13} = Q_{11} - Q_8 \quad (2)$$

$$Q_{11} = Q_p - Q(p_1) - Q_{y1} + f_{pl} \frac{dS_{pl}}{dt} \quad (3)$$

$$Q_{19} = Q_{14} - Q_{y17} = \frac{1}{k} \left(Q_p - Q(p_1) - Q_{y1} + f_{pl} \frac{dS_{pl}}{dt} - Q_{y8} \right) - Q_{y17} \quad (4)$$

Рівняння балансу сил, що діють на виконавчі елементи гідравлічної системи

$$F_{p11} - F_{p16} - F_{pl} - F^a - F^{fr} = 0 \quad (5)$$

$$F_{p13} - F_{p14} + F_{hc} - F_{hc}^a - F_{hc}^{fr} = 0 \quad (6)$$

$$F_p = F_s + F_{19p}^v - F_{dyn}^v - F_{16}^v + F \quad (7)$$

$$F_{p11} + F_{CP}^{kl} - F_{p1ki}^{kl} + F^l - F_3 + F^a = 0 \quad (8)$$

Розв'язання даної системи рівнянь виконувалось за допомогою чисельного методу Рунге – Кутти – Фельдберга.

В результаті чисельного розв'язку математичної моделі було отримано перехідні процеси тисків у відповідних порожнинах розглянутого гідромеханізму в залежності від величини зовнішнього навантаження на вихідну ланку F_c .

У результаті аналізу отриманих перехідних процесів для широкого діапазону зміни параметрів були сформульовані наступні висновки:

1. Незначна зміна регулюючого зазору S_4 призводить до значної зміни тиску у системі, внаслідок чого сила на регулюючому елементі збільшується, змушуючи його рухатися зі значним прискоренням.

2. Зменшити вплив регульованого перепаду тиску на регулюючий елемент у такій конструкції можна за рахунок зменшення діаметрів вихідних отворів.

Література

1. Руткевич В., Остапенко О., Залогін Р. Підвищення ефективності роботи навантажувача з гідроприводом ріжучого механізму для вивантаження силосу з траншейного сховища. *Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки*. 2024. № 3(2). С. 109–114.
2. Веселовська Н., Шаргородський С., Руткевич В., Купчук І., Бурлака С. Розробка математичної моделі гідроприводу підйомного механізму робочого обладнання фронтального навантажувача. *Przegląd Elektrotechniczny*. 2023. Том. 99 (10). С. 34–38.
3. Іванов М. І., Гречко Р. О. Дослідження впливу об'ємів гідролінії на роботу гідростатичної трансмісії типу HST90. *Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та системи* : матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції, 14–16 травня 2019 року. Чернігів, 2019. Том 1. С. 232–233.

УДК 621.891

РЕЦИКЛІНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ОТРИМАННІ ТВЕРДИХ ПАЛИВ З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА

RECYCLING TECHNOLOGIES FOR OBTAINING SOLID FUELS FROM PRODUCTION WASTE

Шимчук Сергій, Мартинюк Віктор, Зайчук Наталія

Луцький національний технічний університет, Україна, Луцьк

The problem of developing technologies for waste processing and corresponding portable equipment is very relevant and allows solving many issues of the modern energy complex of Ukraine. This applies to both the processing of waste into solid fuel high-energy briquettes, and the production of such briquettes from specially grown raw materials (for example, energy willow). This work is devoted to solving these issues.

Дуже важливою проблемою, яка гостро стоїть на багатьох сучасних виробництвах, є покращення продуктивності та енергоефективності таких виробництв за рахунок раціонального використання відходів та зменшення викидів CO₂ [1–3].

Зазвичай відходи, наприклад папір, картон, залишки різного роду деревини, нагромаджуються у відповідних приміщеннях для зберігання таких відходів, а після цього утилізуються. Такий підхід є затратним, працездатним та неефективним. Оскільки такого типу відходи можна використовувати повторно і, в тому числі, як тверді високоенергетичні палива, що можна виготовляти шляхом пресування різними способами.

Варто зауважити, що на багатьох підприємствах таких відходів є надзвичайно багато, а природні ресурси, що використовуються для отримання тепла є скінченними та дорогими. Використовуючи відповідні рециклінгові технології можна отримати тверді палива з відповідних відходів, які можна використовувати для опалення виробничих площ підприємств, де знаходяться ці відходи, а за потреби, реалізовувати іншим споживачам.

Для пресування таких відходів розроблено багато різного роду приладів та обладнання, яке відрізняється за принципом дії, продуктивністю, потужністю, ціною. Проте, не завжди таке обладнання можна адаптувати до умов конкретного виробництва. Тому, в багатьох випадках, є потреба розробляти прилади, які можна досить легко адаптувати до умов відповідного виробництва.

Промислові подрібнювачі, що використовуються для різного роду відходів виробництва (макулатури, картону, деревини) та відходів природного характеру (гілок, листя) можна поділити на наступні типи за характером використання ріжучого інструменту [4]:

- ножові;
- фрезерні.

Ножові подрібнювачі є одними з найбільш використовуваних. Залежно від потужності, ці подрібнювачі можна використовувати для промислового подрібнення паперу, картону, гілок невеликого діаметру та з не дуже твердих порід дерева, листя та іншої органічної сировини. При використанні таких подрібнювачів отримується майже рівномірний матеріал невеликих фракцій (розмірів). Саме такий матеріал, маючи необхідний ступінь зволоження, можна в подальшому піддавати пресуванню, з дотриманням необхідних робочих температур, для отримання брикетованих виробів (наприклад високоенергетичних паливних брикетів). До переваг ножових подрібнювачів доцільно віднести їх більш дешевий ремонт, порівняно, наприклад, з фрезерними подрібнювачами.

Фрезерні подрібнювачі використовуються для подрібнення відходів більших розмірів

та твердості (зазвичай такі операції називають дробленням). В якості ріжучого (подрібнюючого) інструменту використовуються різного роду фрези. Фрезерні подрібнювачі є більш габаритними, матеріалоемними, складними в обслуговуванні та дорогими, а тому, враховуючи конструктивні особливості та експлуатаційні можливості, використовуються дещо рідше, порівняно з ножовими подрібнювачами.

Після подрібнення, найбільш поширеними шляхами пресування відходів є пелетування та брикетування. Для виконання цих процесів використовується відповідне обладнання, проте в загальному цей процес можна показати у вигляді алгоритму, рисунок.

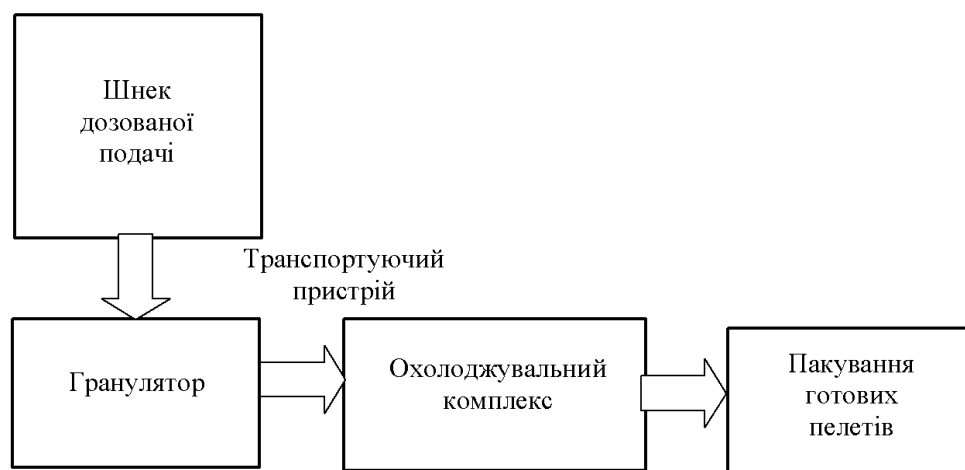


Рисунок. Алгоритм пресування відходів

Вторинна сировина (рисунок), що піддається переробці завантажується автоматизовано (необхідними дозами) в бункер дозованої подачі шнекового типу, з якого вона попадає в гранулятор. В грануляторі ця сировина піддається необхідній обробці: температурній (за необхідної вологості) та обробці тиском. В результаті чого утворюється брикетований чи пелетований матеріал, який подається в осушувально-охолоджуючий комплекс та, в подальшому, на пакування (в мішки чи іншу тару).

Безумовно, що брикетований чи пелетований таким способом матеріал має ряд беззаперечних переваг:

- екологічність;
- його дуже просто використовувати як паливо;
- висока калорійність;
- не потребує спеціальних умов для зберігання;
- хороша транспортабельність (такий матеріал можна перевозити на великі віддалі різними видами транспорту).

Література

1. Матвєєва О. Л., Мікульонюк І. О., Коваль О. Д. Процеси та апарати хімічних виробництв : навч.-метод. посібник. К. : НАУ, 2007. 92 с.
2. Holmberg K., Erdemir A. The impact of tribology on energy use and CO2 emission globally and in combustion engine and electric cars. *Tribology International* [this link is disabled](#). 2019. Vol. 135. Pp. 389–396.
3. Мікульонюк І. О. Механічні, гідромеханічні й масообмінні процеси та апарати хімічної технології : навч. посіб. 2-ге вид. К. : ІЗМН, 2002. 304 с.
4. Радченко Л. Б., Мікульонюк І. О. Моделювання процесів хімічної технології : навч. посіб. Частина 1. *Теоретичні основи*. К. : ВПІ ВПК «Політехніка», 2005. 126 с.

УДК 621.891

КОНЦЕПЦІЯ БЕЗВІДХОДНОГО ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА

THE CONCEPT OF A WASTE-FREE WOODWORKING MANUFACTURING

Шимчук Сергій, Пуць Віталій, Зайчук Наталія

Луцький національний технічний університет, м. Луцьк, Україна

The use of recycling technologies for the production of solid fuels is a promising direction of waste management policy at any woodworking enterprise. This approach is especially relevant when waste is processed into fuel briquettes or other products directly in the production area. This work proposes a concept that consists in using appropriate methods and devices to solve the problem.

В сучасній промисловості України дуже важливе місце займають меблева та деревообробна галузі. Такі виробництва є дуже поширеними в західних та північних областях нашої країни – тобто в тих областях де зосереджено основні лісові ресурси. Переробка деревини, як відомо, на меблі чи іншу необхідну сировину супроводжується утворенням великої кількості відходів. Ефективне використання цих відходів може покращити, як рентабельність виробництва (перетворивши відходи в дохід, за рахунок переробки та утворення нової продукції, наприклад пелетованих брикетів для опалення чи оздоблювальних плит) так і покращити його енергоефективність. При цьому зменшується забруднення навколишнього середовища, навантаження на відповідне, необхідне для утилізації обладнання та затрати енергії [1–4].

Для того, щоб процес переробки таких відходів був максимально ефективним, доцільно розробляти установки для переробки відходів в готову продукцію та встановлювати їх прямо в цехах, де такі відходи накопичуються, з урахуванням особливостей кожного конкретного виробництва.

В даній роботі запропоновано розробити пристрій для виготовлення паливних брикетів з відходів деревообробного виробництва, який може бути інтегрований, як комплексне рішення, у технологічний процес виготовлення іншої продукції (наприклад, як згадувалось вище оздоблювальних чи меблевих плит).

Запропонований проект пристрою для виготовлення паливних брикетів з відходів деревообробного виробництва приведено на рисунку.

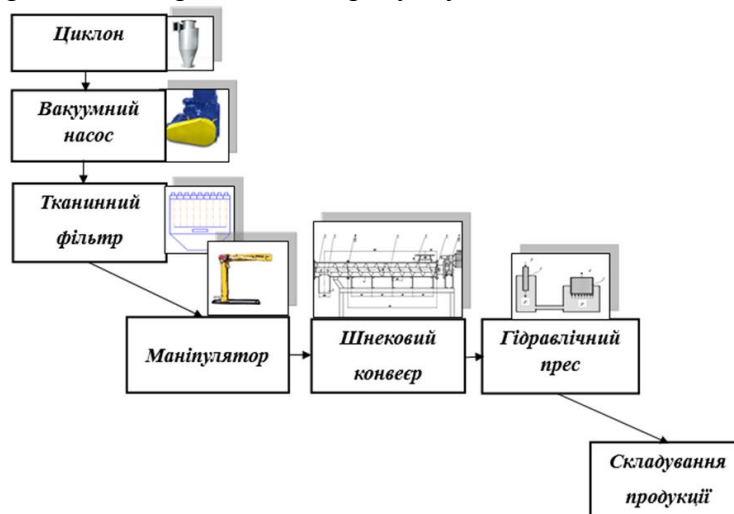


Рисунок. Загальний вигляд пристрою для виготовлення паливних брикетів

Пристрій для виготовлення паливних брикетів з відходів деревообробного виробництва складається з наступних основних елементів:

- пристрою, що збирає відходи деревообробного виробництва з робочої зони;
- маніпулятора, що переміщує наповнені тканинні фільтри до транспортуючого шнекового пристрою;
- шнекового пристрою;
- гідравлічного преса.

Пристрій, що збирає відходи з робочої зони складається з:

- циклона;
- вакуумного насоса;
- тканинного фільтра.

Концепція такого пристрою передбачає швидку адаптацію до будь-якого деревообробного виробництва, з урахуванням його особливостей та серійності.

Пристрій передбачає елементи автоматизації. За рахунок використання портального маніпулятора [5] можна швидко змінювати заповнений відходами циклонний мішок на інший (порожній) в автоматичному режимі (завдяки спеціальним датчикам контролю заповнення), економлячи при цьому час на вивантаження відходів з мішка (що передбачає технологічну зупинку всього виробництва). Після цього порожній мішок переміщується у виробничу зону, для відтягування відходів шляхом відсмоктування, а заповнений – до установки для виготовлення паливних брикетів чи іншої продукції.

З мішка тирсостружка поступає, через шнековий блок, до гідравлічного преса, де відбувається процес пресування готової продукції.

Такий підхід забезпечує практично безвідходне та достатньо енергоефективне виробництво.

При виготовленні паливних брикетів, традиційно, має бути операція транспортування сировини деревообробки зі складу, чи інших місць зберігання такої сировини, до пресуючого пристрою.

Перевагою нашої розробки є практично відсутність такої операції (час на виконання цієї операції є мінімізованим, оскільки сировина забирається з робочої зони, циклона, а простий робочого циклу деревообробки та пресування є мінімальним. Він пов'язаний лише з транспортуванням наповненого фільтра до шнекового пристрою та заміною такого фільтра на порожній).

Література

1. Про затвердження Порядку ведення реєстру місць видалення відходів : Постанова КМУ від 03.08.1998 р. № 1216.
2. Про затвердження Порядку ведення реєстру об'єктів утворення, оброблення та утилізації відходів : Постанова КМУ від 31.08.1998 р. № 1360.
3. Про впровадження системи збирання, сортування, транспортування, переробки та утилізації відходів як вторинної сировини : Постанова КМУ від 26.07.2001 р. № 915.
4. ДСанПіН 2.2.7.029-99. Гігієнічні вимоги щодо поводження з промисловими відходами та визначення їх класу небезпеки для здоров'я населення. Державні санітарні правила та норми.
5. Навчальний посібник з дисципліни Маніпулятори та промислові роботи. Для студентів бакалаврів., спеціальності: 131 – Прикладна механіка, 133 – Галузеве машинобудування / укладачі: Михайлов Є. П., Лінгур В. М. Одеса : ОНПУ, 2019. 233 с.

**НАУКОВА СЕКЦІЯ З
ВИРОБНИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ**

УДК 004.422:004.41

ЗАСТОСУВАННЯ АРХІТЕКТУРНОГО ПАТЕРНУ MVVM У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ МОДЕРНИХ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ

APPLICATION OF THE MVVM ARCHITECTURAL PATTERN IN THE DEVELOPMENT PROCESS OF MODERN MOBILE APPLICATIONS

Ващіліна Олена¹, Голотюк Вікторія¹, Голотюк Микола²

¹Київський національний університет імені Тараса Шевченка,
вул. Володимирська, 60, м. Київ, 01033

²Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028

This report examines the use of the MVVM architectural pattern for separating business logic and user interface in mobile applications, particularly for Android. It highlights the advantages of this pattern, including ease of maintenance and testing, and provides examples of its implementation in real-world applications.

У роботі розглядається застосування архітектурного патерну MVVM для розмежування бізнес-логіки та інтерфейсу користувача в мобільних застосунках, особливо для Android. Аналізуються переваги цього патерну, включаючи полегшення підтримки та тестування проектів, а також наведено приклади його впровадження в реальних додатках.

У розробці мобільних застосунків архітектурні патерни відіграють важливу роль, оскільки дозволяють структурувати код і забезпечувати ефективну підтримку додатків. Складність сучасних мобільних застосунків зростає, що робить їх розробку дедалі складнішою та витратною. Ось чому вибір правильного архітектурного патерну є ключовим для успішної реалізації проекту. Одним із найбільш популярних підходів є використання MVVM (Model-View-ViewModel), який сприяє зручному розмежуванню компонентів додатка.

MVVM є архітектурним патерном, що дозволяє чітко розділити бізнес-логіку та інтерфейс користувача. Це дає змогу знижувати зв'язність між компонентами і робити додатки більш масштабованими та зручними для тестування. Патерн став надзвичайно популярним у розробці Android-застосунків, оскільки він дозволяє оптимізувати взаємодію між компонентами без втрати продуктивності [1; 2].

Ідея патерну полягає в тому, щоб відокремити інтерфейс користувача (View) від бізнес-логіки (Model) за допомогою спеціального компонента – ViewModel. Завдяки цьому, кожен компонент може змінюватися та оновлюватися незалежно від інших, що забезпечує вищу гнучкість при розвитку та підтримці застосунку [3; 4; 5].

Метою цієї роботи є не лише дослідити принципи та переваги використання MVVM у мобільних застосунках, а й надати практичний приклад його реалізації в Android. Оскільки Android-розробка сьогодні є однією з найпопулярніших сфер програмування, правильне застосування MVVM може значно покращити ефективність та масштабованість проекту.

MVVM є досить простим у розумінні та застосуванні, однак при цьому надає велику кількість переваг, коли йдеться про складні системи, що мають багатий інтерфейс і велику кількість даних. Він забезпечує чітке розмежування між інтерфейсом користувача та бізнес-логікою, дозволяючи кожному компоненту мати свою відповідальність. У цьому патерні Model відповідає за всі операції з даними, включаючи доступ до бази даних або API. View лише відображає інформацію користувачу та взаємодіє з ним, але не містить жодної логіки обробки.

ViewModel є важливою частиною цього патерну, оскільки він відіграє роль посередника між View та Model. Взаємодія між View і ViewModel здійснюється через LiveData, що дозволяє View автоматично оновлюватися, коли дані змінюються. Це дозволяє підтримувати актуальність відображених даних без необхідності вручну перезавантажувати інтерфейс, що значно покращує користувацький досвід.

Однією з основних переваг MVVM є його здатність до масштабування. Оскільки View і ViewModel є незалежними, то вони можуть розвиватися та змінюватися без впливу один на одного. Наприклад, якщо потрібно змінити бізнес-логіку або додати нові функції, це можна зробити без втручання в інтерфейс користувача, що робить систему більш гнучкою та зручною для подальшої еволюції.

Окрім того, MVVM дозволяє легко впроваджувати тестування в систему. Оскільки бізнес-логіка в ViewModel не залежить від інтерфейсу, її можна тестувати окремо, без необхідності враховувати UI. Також, завдяки використанню LiveData, можна тестувати реакцію UI на зміни даних без прямої взаємодії з View, що забезпечує високий рівень модульності і тестованості коду.

Імплементація MVVM в Android стала стандартом завдяки використанню архітектури Android Jetpack, яка включає важливі бібліотеки, такі як ViewModel і LiveData. ViewModel є компонентом, який зберігає дані між змінами конфігурації (наприклад, при повороті екрану), що важливо для мобільних додатків, де часто виникає потреба зберігати стан навіть при змінах в UI.

Одним з ключових аспектів є використання LiveData, що дозволяє автоматично оновлювати інтерфейс користувача при зміні даних. LiveData працює в контексті життєвого циклу, тому не потрібно турбуватися про його звільнення чи оновлення після того, як екран буде відключений або змінений. Це значно знижує ймовірність виникнення помилок, пов'язаних з управлінням життєвим циклом UI-компонентів.

Реалізація MVVM в Android також передбачає використання репозиторіїв, які є абстракцією для джерела даних. Репозиторій взаємодіє з різними джерелами даних (API, база даних, кеш), а ViewModel звертається до репозиторіїв для отримання інформації. Така структура дозволяє зберігати бізнес-логіку окремо від деталей реалізації джерела даних і надає можливість зручно оновлювати або замінювати джерела даних без змін у ViewModel.

Завдяки такому підходу, додатки, побудовані за допомогою MVVM, стають легшими у підтримці та розширенні, оскільки зміни в одному компоненті не впливають на інші. Це дозволяє ефективно управляти складними проектами, особливо коли в системі необхідно впроваджувати нові функції або обробляти велику кількість даних.

Розглянемо приклад власного проекту для підтримки фітнес марафонів, реалізованого за допомогою архітектурного патерну MVVM. У цьому проекті використано цей патерн для чіткого розмежування бізнес-логіки, інтерфейсу користувача та взаємодії з даними. Такий підхід дозволяє забезпечити масштабованість і простоту підтримки додатка на всіх етапах розробки та подальшого використання. Структура проекту була організована так, щоб кожен компонент виконував чітко визначену роль, що дозволяє легко адаптувати та розширювати його. Структура проекту виглядає наступним чином:

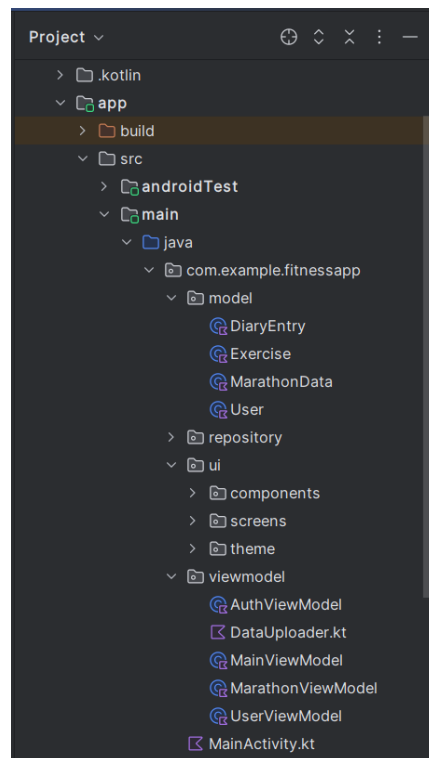


Рисунок. Структура проекту, реалізованого за допомогою архітектурного патерну MVVM

Проект складається з кількох ключових частин, кожна з яких має свою відповідальність. В модулі `model` зберігаються класи, що відповідають за структуру даних, такі як `DiaryEntry.kt` для записів у щоденнику, `Exercise.kt` для опису вправ, `MarathonData.kt` для зберігання даних марафонів і `User.kt` для роботи з інформацією користувача. Ці класи дозволяють зберігати і передавати дані між різними частинами додатка. Моделі є незалежними від UI, що робить їх гнучкими і тестованими.

Компоненти доступу до даних реалізовано в репозиторії. Репозиторій виступає як абстракція між джерелами даних (API, база даних) і бізнес-логікою. Це дозволяє легше змінювати джерела даних без необхідності втручатись в інтерфейс користувача чи логіку, що забезпечує високу гнучкість і можливість масштабування проекту. Взаємодія з даними відбувається через репозиторій, який отримує запити від `ViewModel` і передає необхідні дані.

UI-компоненти проекту зберігаються в пакеті `ui`. Цей пакет містить всі елементи інтерфейсу користувача, такі як компоненти для відображення даних, екрани для основних функцій додатка та теми для стилізації. Пакет `viewModel` містить основну бізнес-логіку і керує даними, які передаються до UI. У цьому пакеті зберігаються класи `ViewModel`, такі як `MainViewModel.kt`, що відповідає за дані, які відображаються на головному екрані, `AuthViewModel.kt`, який керує аутентифікацією користувача, та `UserViewModel.kt`, що працює з даними користувача.

Ця структура дозволяє чітко розділити відповідальність між компонентами додатка, що робить його зручним для тестування та підтримки. Наприклад, `ViewModel` можна протестувати окремо від UI, а також легко змінювати бізнес-логіку або додавати нові джерела даних, не впливаючи на інтерфейс користувача. Завдяки цьому, коли додаток розширюється або додаються нові функції, система залишатиметься гнучкою та масштабованою.

Такий підхід до організації проекту забезпечує високу гнучкість та ефективність у розробці і підтримці Android-застосунків, а також дозволяє зберегти чистоту та зрозумілість коду, що важливо при масштабуванні додатка. MVVM дозволяє зручно розділяти логіку додатка та його інтерфейс, що є основною перевагою цього патерну при створенні складних і масштабованих мобільних застосунків.

Якщо порівняти MVVM з іншими популярними архітектурними патернами, такими як MVP і MVC, можна побачити деякі важливі відмінності. У таблиці нижче наведено ключові відмінності між цими патернами.

Параметр	MVVM	MVP	MVC
Зв'язність між компонентами	Низька (View і ViewModel незалежні)	Висока (Presenter пов'язує View і Model)	Висока (Controller управляє View і Model)
Тестування	Легко тестується (ViewModel можна тестувати окремо)	Тестування може бути складнішим через високий рівень зв'язку	Тестування складне через велику кількість залежностей
Застосування	Найкраще для складних застосунків з багатьма взаємодіями	Застосовується для більших проєктів з необхідністю управління станом	Просте застосування для невеликих проєктів

MVVM є одним з найефективніших архітектурних патернів для розмежування бізнес-логіки та інтерфейсу в Android-застосунках. Завдяки чіткому відокремленню кожного з компонентів, цей патерн дозволяє створювати гнучкі, масштабовані та підтримувані додатки, знижуючи рівень складності та забезпечуючи зручність тестування.

Реалізація MVVM з використанням ViewModel та LiveData забезпечує ефективне управління даними та їх оновленням в інтерфейсі користувача без необхідності вручну перезавантажувати UI. Це дозволяє створювати додатки, які легше масштабувати і підтримувати в процесі їх розвитку.

Порівняно з іншими архітектурними патернами, MVVM має значні переваги, особливо у великих проєктах, де важлива гнучкість і масштабованість коду. Проте цей патерн також потребує певного рівня складності, особливо при початковому освоєнні, але його переваги значно виправдовують ці витрати.

Отже, патерн MVVM є одним з найкращих рішень для Android-розробки, і його правильне використання може значно полегшити створення, тестування та підтримку мобільних застосунків.

Література

1. Шварцман В. І. Архітектурні патерни в розробці ПЗ : методичні підходи та порівняльний аналіз. *Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія*. 2023. № 2. С. 45–52.
2. Smith A. MVVM Design Pattern and Architecture for Modern Mobile Applications. O'Reilly Media, 2021. 352 p.
3. Андрушко А. В., Ковальчук І. М. Аналіз сучасних фреймворків для реалізації MVVM в мобільних застосунках. *Вісник НТУУ «КПІ». Сер. Програмування*. 2022. № 3. С. 33–39.
4. Krzemiński M. MVVM in Xamarin.Forms Made Simple. *Independently published*. 2020. 274 p.
5. Freeman A., & Sanderson P. Pro ASP.NET Core MVC 6. Apress, 2022. 1080 p.

УДК 664.68

АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ ТА СВІТІ

ANALYSIS OF THE USE OF ROBOTIC TOOLS IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF UKRAINE AND THE WORLD

Добранський Сергій, Бучко Ігор

Житомирський агротехнічний фаховий коледж, вул. Покровська, 96, м. Житомир, 10013

The current state and prospects of using robotic means in the agro-industrial complex of Ukraine are considered in the thesis. Their impact on the productivity, efficiency and sustainability of agricultural production is analysed.

Агропромисловий комплекс України (АПК) є стратегічно важливою галуззю, що відіграє ключову роль у національній економіці та міжнародній торгівлі. Впровадження сучасних технологій, зокрема роботизованих засобів, сприяє підвищенню продуктивності, зниженню витрат і покращенню якості сільськогосподарської продукції. Автоматизація та роботизація дозволяють мінімізувати вплив людського фактору, зменшити витрати на оплату праці та зробити агробізнес більш ефективним.

Перед тим як аналізувати впровадження роботизованих систем, важливо зрозуміти основні виклики, з якими стикається АПК України, а саме: 1) дефіцит кваліфікованої робочої сили – зменшення кількості працівників у сільському господарстві через військові дії, міграцію та урбанізацію; 2) зростання собівартості виробництва – ціни на паливо, добрива, засоби захисту рослин та оплату праці постійно зростають; 3) кліматичні зміни – нестабільні погодні умови та посухи потребують гнучких та ефективних технологій; 4) необхідність підвищення врожайності – для збереження конкурентоспроможності на світовому ринку фермери повинні шукати нові способи підвищення продуктивності; 5) екологічні вимоги – зростає потреба у скороченні використання пестицидів і хімічних добрив.

Розвиток роботизованих технологій дозволяє ефективно вирішувати ці виклики.

Одним із найпоширеніших напрямків роботизації є автоматизація польових робіт, включаючи обробку ґрунту, посів і збирання врожаю.

Приклад 1: Автономні трактори.

В Україні активно тестуються безпілотні трактори, які можуть працювати без участі оператора, використовуючи GPS-навігацію та системи штучного інтелекту. Наприклад, «Agro-Robotics UA» розробляє безпілотні трактори NEXAT (рис. 1), які можуть самостійно виконувати оранку, боронування та культивуацію.



Рис. 1. Універсальний системний трактор NEXAT

NEXAT – універсальний системний трактор, який виконує всі польові операції – від культивування до посіву, від захисту рослин до збирання врожаю. У 2021 р. під час міжнародної агровиставки Agritechnica 2022 робот отримав єдине золото на конкурсі інновацій «Innovation Award Agritechnica». Роботизована машина вже понад 4 роки успішно тестується на українських полях.

В Україні тестуються комбайни і трактори з автопілотом, як-от Case IH Autonomous Concept Vehicle, які здатні самостійно адаптувати швидкість, напрямок руху та інтенсивність обмолоту.



Рис. 2. Концептуальний автономний трактор Case IH Magnum ACV (Autonomous Concept Vehicle)

За твердженням розробників, модель Magnum ACV здатна оптимізувати сучасне сільське господарство, роблячи його більш ефективним, економічним та екологічним. Вона також усуває необхідність у понаднормовій роботі, дозволяючи максимально використовувати потенціал ґрунту та погодних умов.

Концепція автономного трактора базується на платформі Case IH Magnum та використовує систему автоматичного керування AccuGuide з GPS RTK+ від Case IH для досягнення найвищої точності навігації. Ця технологія забезпечує повний дистанційний контроль і передає всі польові дані в реальному часі.

Вибір Magnum CVX як основи для автономного трактора обґрунтований його застосуванням у висіві, первинному та передпосівному обробітку ґрунту. Ця техніка використовується для тягових операцій із широкозахватними сівалками, що потребують безперервної та висококваліфікованої роботи. Автономні функції значно зменшують залежність від людської праці.

Незважаючи на безпілотний формат, машина легко інтегрується в існуючий парк техніки завдяки використанню стандартного двигуна, трансмісії, шасі та навісних агрегатів. Роботу трактора ініціюють через комп'ютер, що дозволяє автоматично розраховувати найбільш ефективні маршрути по полю. Автономна технологія найкраще підходить для таких завдань, як культивування, посів та обприскування, а також може використовуватися на менших машинах для скошування або догляду за садами. За потреби маршрути руху можна налаштовувати вручну.

Оператор обирає потрібний тип роботи з програмного меню, призначає трактор для виконання завдання, що займає не більше 30 секунд. Всі функції машини контролюються датчиками, які регулюють запуск і зупинку двигуна, швидкість руху, трансмісію, кут повороту, роботу ВВП та гідросистеми. Взаємодія з технікою здійснюється через ПК або планшет з інтерактивним інтерфейсом, що дозволяє відстежувати, керувати та зберігати всі дані.

На дисплеях відображаються маршрути, стан трактора, зображення з камер, що дає оператору змогу контролювати процеси так, ніби він перебуває в кабіні. Окремий екран дозволяє налаштовувати основні параметри, такі як швидкість двигуна, рівень палива та

параметри причіпного обладнання. Маршрути можуть враховувати приватні дороги або внутрішні шляхи.

З метою безпеки компанія Case IH співпрацювала з ASI, що дозволило впровадити інфрачервоне сканування, металодетектори, радары, лазерні й візуальні системи для запобігання аваріям. При виявленні перешкоди трактор автоматично зупиняється, а оператор отримує сповіщення з варіантами реагування. У разі втрати сигналу GPS машина самостійно зупиняється. Також у системі передбачена функція аварійного відключення.

На демонстрації в США автономний трактор працював із 16-рядною сівалкою точного висіву Case IH 2150, обладнаною системою внесення добрив та технологіями високоточного висіву, такими як DeltaForce та V-set. Незважаючи на те, що ця модель не представлена на європейському ринку, вона демонструє, що автономний трактор може повністю інтегруватися з причіпною технікою.

Розроблено передові датчики та програмне забезпечення для моніторингу висіву й продуктивності. Також Case IH активно впроваджує додаткові технології, зокрема монітори тиску в шинах, для покращення контролю за технічним станом машин.

Приклад 2: Роботизовані сівалки.

Деякі агрохолдинги вже використовують автоматизовані сівалки, які підлаштовують норму висіву залежно від характеристик ґрунту. Системи змінної норми висіву, як-от Precision Planting, дозволяють значно економити насіння та підвищувати врожайність.



Рис. 3. Автоматизовані сівалки Precision Planting

Щоб зменшити використання хімікатів та підвищити ефективність удобрення, застосовуються дрони та роботизовані обприскувачі.

Безпілотні літальні апарати використовуються для аналізу стану посівів, виявлення хвороб рослин та оптимізації процесу внесення добрив і засобів захисту. Це дає змогу швидко реагувати на зміни у стані полів і знижувати використання хімікатів.

Приклад 3: Дрони-обприскувачі.

Українські фермери активно використовують дрони, як-от DJI Agras, для точкового внесення пестицидів та рідких добрив. Це дозволяє значно зменшити витрати на хімічні засоби та підвищити екологічність виробництва.



Рис. 4. Дрони-обприскувачі DJI Agras

Компанія «AgroBot UA» розробляє автономні машини для обприскування полів, які використовують комп'ютерне бачення для точного виявлення бур'янів і хвороб рослин.

Україна є однією з провідних країн в світі яка інтенсивно впроваджує використання дронів-обприскувачів в агропромисловий комплекс.

Збирання врожаю – один із найбільш трудомістких процесів у сільському господарстві, який також активно роботизується (використовується роботизовані комбайни та збиральна техніка).

Приклад 4: Автономні комбайни.



Рис. 5. Автономний зернозбиральний комбайн

Китайська компанія Country Garden презентувала в роботі перший в світі автономний зернозбиральний комбайн потужністю 300 к.с.

Головний інженер відділу систем шасі компанії Naoyun Technology заявив, що це перший у світі великогабаритний автономний комбайн, потужність якого перевищує 300 к.с. і може досягати 400 к.с.

Робота безпіотної машини контролюється штучним інтелектом, який аналізує дані, регулює параметри обмолоту та очищення, а також автоматизує процес розвантаження. За інформацією розробників, цей комбайн здатен зібрати 200 гектарів рису за 10 годин.

Приклад 5: Роботи для збирання ягід і фруктів.

Для садівництва впроваджуються автоматизовані збирачі ягід, які використовують комп'ютерне бачення для розпізнавання стиглих плодів. Наприклад, у Вінницькій області вже застосовуються прототипи подібних систем.



Рис. 6. Роботизовані комплекси для збирання ягід і фруктів

Комбайн для збирання ягід Jagoda Pestka призначений для збирання врожаю вишні, сливи, технічного яблука тощо. Агрегатуються із сільськогосподарським трактором із триточковим наваженням та зовнішньою гідросистемою.

Робота шейкера полягає в тому, щоб захопити дерево своїм держак та викликати його вібрацію. Збавтані плоди потрапляють на сита, розташовані під деревом (сітки не входять до стандартної комплектації шейкера), з яких ми їх пересипаємо в ящики. Листя потрібно прибрати будь-яким феном. Вирізняється простішою конструкцією порівняно з аналогічними пристроями завдяки використанню зовнішньої гідравлічної системи трактора, а його гнучкість дозволяє ефективно трясти плоди навіть на деревах із стовбурами діаметром понад 22 см, адже щелепні пазури можуть охоплювати гілки. Ефективність струшування легко регулюється зміною маси обертових частин головки, що струшує, а довжина штанги, на якій вона підвішена, налаштовується в межах від 1200 до 2000 мм, що зручно для садів із різними міжряддями. Можливість повороту стріли на 90° праворуч і ліворуч дає змогу одночасно збирати ягоди з двох рядів дерев, хоча для цього знадобляться два набори екранів і додатково дві особи для роботи.

У тваринництві також активно застосовуються роботизовані установки для доїння корів, годування та моніторингу стану здоров'я худоби. Такі системи знижують навантаження на персонал та забезпечують стабільну якість продукції.

Приклад 6: Доїльні роботи.



Рис. 7. Роботизований комплекси для доїння

Доїльні роботи – це автоматизовані системи, призначені для доїння молочних тварин, таких як корови, кози та вівці. Вони використовуються для підвищення ефективності та продуктивності молочного виробництва, а також для покращення добробуту тварин.

Доїльні роботи мають численні переваги, такі як підвищення продуктивності завдяки цілодобовій роботі, що збільшує частоту доїння та обсяги надоїв, а також покращення якості молока через автоматизовані системи, які забезпечують гігієнічність і знижують ризик забруднення. Крім того, вони сприяють добробуту тварин, дозволяючи коровам доїтися в зручний для них час, що зменшує стрес і позитивно впливає на здоров'я, а також знижують

витрати на робочу силу за рахунок автоматизації, скорочуючи потребу в працівниках.

Сучасні доїльні роботи також збирають дані про кожну тварину, допомагаючи фермерам контролювати здоров'я та продуктивність стада. Серед основних типів таких систем є роботи для добровільного доїння, де тварини самі заходять у доїльний бокс за потреби, та роботи для стаціонарного доїння, що застосовуються в доїльних залах із спеціальними станками. Провідними виробниками доїльних роботів є компанії Lely, DeLaval, GEA та інші.

Застосування роботизованих систем у сільському господарстві приносить численні переваги: зменшення витрат на персонал і виробництво, адже роботи не потребують зарплат, відпусток чи лікарняних, а автоматизація скорочує потребу в ручній праці, використанні пального та добрив; підвищення продуктивності завдяки безперервній та ефективній роботі автономної техніки; точність і зниження відходів за допомогою дронів і сенсорів, які дозволяють точно вносити добрива та пестициди; мінімізація впливу людського фактору, що знижує ризик помилок і перевитрат ресурсів; підвищення якості продукції через точний контроль умов вирощування; зменшення екологічного впливу завдяки скороченню використання хімікатів і оптимізації споживання ресурсів.

Водночас впровадження роботизації в Україні стикається з викликами: високою вартістю обладнання, яке не всім фермерам по кишені; недостатнім рівнем цифрової грамотності, що вимагає підготовки персоналу для роботи з новими технологіями; проблемами з інфраструктурою, зокрема відсутністю якісного інтернет-покриття в сільській місцевості; законодавчими бар'єрами через брак чітких регуляцій щодо використання автономної техніки.

Перспективи розвитку роботизації в агросекторі України виглядають обнадійливо, хоча для масштабного поширення технологій необхідно подолати ці труднощі: розширення використання штучного інтелекту для прогнозування врожайності, контролю якості продукції та оптимізації логістики; розвиток аграрних стартапів, які вже з'являються в Україні у сфері роботизації; державна підтримка через потенційні дотації та пільгове кредитування на автоматизацію сільського господарства; інтеграція блокчейну для забезпечення прозорості у веденні фермерських господарств; розширення державних програм підтримки автоматизації; підготовка кваліфікованих кадрів для роботи з новими технологіями; створення умов для доступного фінансування закупівлі роботизованих систем.

Сучасне сільське господарство стрімко змінюється завдяки розвитку цифрових технологій і роботизованих засобів, і в Україні особливо, де агропромисловий комплекс відіграє ключову роль в економіці, автоматизація та роботизація підвищують ефективність виробництва, зменшують витрати й покращують якість продукції.

Роботизація агропромислового комплексу України є невідворотним процесом, який значно посилює ефективність сільського господарства, і попри фінансові та інфраструктурні бар'єри, її впровадження має оптимістичні перспективи, адже інвестування в автоматизацію допоможе українському АПК залишатися конкурентоспроможним на світовому ринку та забезпечить стабільний розвиток у майбутньому.

Література

1. Чуєнко В. Ефективність цифровізації в агропромисловому комплексі. *Вісник Хмельницького національного університету. Сер. Технічні науки*. 2023. № 6. Т. 329. С. 354–357.
2. Бойко В. М. Використання роботизованих систем у сільському господарстві України. *Вісник аграрної науки*. 2023. № 7. С. 45–52.
3. Ковальчук О. П. Технологічні аспекти впровадження роботизованих механізмів у сільське господарство. *Науковий вісник АПК*. 2022. № 4. Т. 30. С. 112–119.
4. Мельник І. С. Інноваційні рішення у сфері агроробототехніки: перспективи для України. *Аграрний журнал*. 2021. № 5. С. 67–73.
5. Петренко Л. В. Автоматизація та роботизація агропромислового виробництва: світовий досвід і українські реалії. *Економіка АПК*. 2023. № 9. С. 88–95.
6. Сидоренко П. Г. Вплив роботизованих технологій на продуктивність сільськогосподарського виробництва. *Сучасні тенденції в аграрній науці*. 2022. Вип. 14. С. 25–31.

УДК 631.67:528.935

ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ТА ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБЛЕНИХ ТОРФОВИХ ПЛОЩ

INNOVATIVE APPROACHES AND EFFECTIVE UTILIZATION OF DEVELOPED PEATLAND AREAS

Кучерук Мирослава

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

Peat industry utilizes vast land areas that require reclamation and further use after peat extraction. In Ukraine, about 32,000 hectares of used peatlands remain unutilized, causing ecological and socio-economic problems. This research examines modern approaches to the effective utilization of used peatlands through innovative reclamation technologies.

Торфова промисловість використовує значні площі земель, які після видобутку торфу потребують рекультивції та подальшого використання. В Україні близько 32 тис. га вироблених торфових площ залишаються невикористаними, що спричиняє екологічні та соціально-економічні проблеми. У даному дослідженні розглядаються сучасні підходи до ефективного використання таких територій шляхом інноваційних технологій рекультивції.

Торфове родовище (ТР) є важливою ланкою екологічної системи. З його осушенням порушується екологічна рівновага, яка склалась у районі його розташування. Якщо осушення ТР відбувається з метою видобутку торфу, то зміни умов в екологічній системі відбувається на короткий період (20–30 років), протягом якого ці зміни не набувають критичних значень. Використання ж вироблених ТР триває значно довше, і не впровадження науково обґрунтованих напрямків їх використання може спричинити велику пікову лісовим масивам, водоймищам (заболочення прилеглих озер, обміління та зникнення річок) і лукам, розташованим на прилеглих територіях, яка здебільшого в декілька разів перевищує площу родовища раціональне використання могло б дати значну кількість лісонасаджень, товарної риби, сіна для худоби. В цілому вироблені площі необхідно як найшвидше повернути до свого первісного стану, в якому вони перебували в давні часи.

Дотепер склались такі основні напрями використання ВТР: сільськогосподарське, лісгосподарське, водогосподарське та створення мисливських угідь. Багато десятиків років вибір напрямку використання ВТР здійснювався не на науковій основі, а вольовими рішеннями влади, переважно під сільське господарство, в зв'язку з чим практичне використання ВТР призводило до негативних економічних та екологічних наслідків. Перехід до науково обґрунтованого напрямку використання ВТР привів до природоохоронного напрямку – повторного заболочення, з обґрунтованим використанням окремих під с/г, лісонасадження та створення водоймищ.

Раціональне використання ВТП може мати значний економічний ефект. Наприклад, перетворення таких територій на водоймища або мисливські угіддя сприяє розвитку екотуризму та рибного господарства. Лісонасадження можуть забезпечити цінну деревину та біопаливо, а адаптоване сільськогосподарське використання – стабільний урожай кормових культур.

Етапність визначення напрямку використання порушених земель має реалізуватись у такій послідовності: – на стадії розробки проекту будівництва підприємства розробляється розділ «Рекультивация площ після виробки торфу», в якому, за матеріалами розвідки його властивостями та умовами залягання торфового родовища, визначається напрям

використання ВТП, відповідна глибина залишкового шару і, з врахуванням екологічного та соціально-економічного стану регіону, розробляють проект рекультивації ВТП.

Нажаль, рідко дотримується такої послідовності і це призводить до негативних наслідків рекультивації навіть при вкладенні значних коштів. Наприклад, за даними, з обстежених рекультивованих і переданих сільськогосподарським підприємствам 15,6 тис. га, на 6,3 тис. га врожаї взагалі не були одержані, на 5,1 тис. га були до 15 ц/га кормових одиниць, і тільки на 4,2 тис. га врожаї сіна становили від 16 до 30 ц/га.

Основними причинами малопродуктивності сільськогосподарських угідь є нехтування генетичних особливостей ВТР. Так, на ТР замкнених улоговин, або схилу вододілів практично неможливо створити сприятливий водний режим для сільськогосподарських культур: у першому випадку ґрунти перезволожені, в другому – пересушені. Несприятливі для сільськогосподарського використання ВТП із залишковим шаром з верхового торфу, за рахунок його високої кислотності, для нейтралізації якої необхідно вносити до 28 т/га вапнякових матеріалів, що нерентабельно, та шаром торфу, що підстиляється сапропелем.

Одним із найважливіших критеріїв вибору напряму використання вироблених площ є геоморфологічні та геологічні особливості торфового родовища, від яких залежать його водномінеральне живлення і, як наслідок, властивості та напрям використання. Для правильної оцінки господарської цінності та оптимального режиму їх використання. Необхідна максимально повна кількісна і фізико-хімічна характеристика торфу, підстиляючого його мінерального ґрунту та інформація про водно-повітряні властивості.

Необхідно враховувати, що за своїми властивостями залишковий шар торфу суттєво відрізняється від поверхневого шару торфу низькою родючістю за рахунок низького вмісту необхідних для розвитку рослин поживних NPK елементів. Контактний шар, що лежить на мінеральному дні навпаки, накопичує настільки високий вміст NPK, що їх концентрація токсична для рослин. Придонний шар торфу має незадовільні водно-фізичні властивості, оскільки існує різкий перепад водно-фізичних характеристик при переході від торфового шару до мінеральної підстиляючої породи, і на межі цих шарів після осушення відбувається розрив капілярних зв'язків, внаслідок чого порушується постачання води з мінерального в торфовий шар і водний режим не залежить від рівня ґрунтових вод, а визначається метеорологічними умовами.

Тепловий режим не дуже сприятливий для розвитку рослин: торфові ґрунти холодні, для них характерні різкі зміни тепла і холоду протягом доби та сезону. Для залишкового шару характерна слабка аерація. Кількість пор, зайнятих повітрям, низьке (не перевищує 2–6%) порівняно з неспрацьованими торфовими родовищами (37–62%).

Залишковий шар має низьку біологічну активність, що пояснюється вмістом значної кількості речовин, що не гідролізуються, і тому недоступні для мікроорганізмів. З окисненням торфу залишкового шару, його компоненти поступово гідролізуються, зростає кількість мікроорганізмів і, як наслідок, торф перетворюється на ґрунт. Але цей процес відбувається дуже повільно [2].

Відновлення вироблених торфових площ відіграє важливу роль у збереженні біорізноманіття та кліматичної стабільності. Наприклад, повторне заболочення сприяє поглинанню вуглецю, що допомагає зменшити викиди парникових газів. Водночас, створення лісонасаджень допомагає відновити природні екосистеми та поліпшити мікроклімат регіонів.

У майбутньому ефективне використання ВТП вимагатиме впровадження новітніх технологій моніторингу стану ґрунтів, а також розробки індивідуальних стратегій рекультивації для кожного конкретного родовища. Інтеграція екологічних та економічних підходів сприятиме стійкому розвитку регіонів та зменшенню негативного впливу торфовидобувної промисловості на навколишнє середовище.

Враховуючи наведені факти, необхідно зберігати значну частину природних екосистем і використовувати ВТР переважно під повторне заболочення, водоймища і лише винятково

під сільськогосподарські угіддя (пасовища, сінокоси або вирощування культур стійких до зазначених в даному розділі факторів).

Література

1. Кучерук М. О. Рекультивація вироблених торфових родовищ. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів* : тези VIII Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. Житомирська політехніка, 2021.
2. Кучерук М. О., Оксенюк Р. Р. Природоохоронні функції боліт. *Проблеми та перспективи розвитку сучасної науки* : Міжнародна науково-практична конференція молодих науковців, аспірантів і здобувачів вищої освіти. Рівне : НУВГП, 2021.

УДК 669.017

АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ

ANALYSIS OF MODERN METHODS OF NON-DESTRUCTIVE TESTING OF PRODUCTS

Карпенко Андрій, Налобіна Олена

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Запоріжжя, Україна

The article provides an overview of modern methods and means of non-destructive testing used in industry. The advantages and disadvantages of the methods, as well as trends in their development are considered. Knowledge of the peculiarities of non-destructive testing methods allows managing production risks, continuous monitoring of production processes for compliance with quality standards, and reduces production costs. Therefore, it is important to know the methods of NDT, their features for the correct selection for a particular type of production.

Подано огляд сучасних методів та засобів неруйнівного контролю, які застосовуються у промисловості. Розглянуто переваги та недоліки методів, а також тенденції їх розвитку. Знання особливостей методів неруйнівного контролю дозволяє управляти виробничими ризиками, здійснювати постійний моніторинг виробничих процесів на відповідність стандартам якості знижують витрати на виробництво. Тому, важливо знати методи НК, їхні особливості для вірного підбору для конкретного виду виробництва.

У гірничо – металургійному комплексі виконуються різноманітні виробничі процеси, такі як лиття, прокатка, кування, процеси видалення матеріалу тощо. Виконання даних процесів потребує максимальної точності. Навіть найменші відхилення можуть призвести до прояву дефектів або виходу з ладу готових виробів.

Неруйнівний контроль (НК) або неруйнівний контроль – це спосіб тестування, який протягом десятиліть використовувався промисловістю для перевірки продуктів масового виробництва на наявність аномалій [1; 2; 3].

Оскільки належне технічне обслуговування виробів дуже важливе для безпеки тих, хто їх обслуговує, більшість країн мають закони, які вимагають від виробників дотримання певних стандартів під час проведення перевірок. Згідно стандартів проводяться періодичні перевірки з дотриманням задекларованих вимог.

Методи неруйнівного контролю передбачають використання звукових хвиль, акустичних імпульсів або гамма-променів для виконання поглибленої оцінки матеріалу. Комбінуючи різні методи, фахівці з НК можуть перевіряти об'єкти на наявність найменших дефектів, невидимих неозброєним оком.

Розглянемо коротко чинні методи НК.

Магнітопорошковий контроль – це метод, який використовується для виявлення поверхневих і приповерхневих розривів у феромагнітних матеріалах. Недоліками методу є: можна використовувати лише для матеріалів, які можуть бути намагнічені; після перевірки тестовий об'єкт часто потрібно розмагнітити, щоб видалити будь-який залишковий магнетизм, що вимагає додаткового часу та спеціального обладнання; магнітні частинки можуть становити загрозу здоров'ю та безпеці.

Ультразвуковий контроль – це метод НК, який використовує високочастотні звукові хвилі для виявлення та вимірювання розривів у промислових виробках. Недоліками методу є: ускладнена перевірка деталей неправильної форми; вимагає хорошого контакту поверхні між перетворювачем і матеріалом; для забезпечення зв'язку між датчиком і матеріалом потрібен гель або рідке середовище, що в деяких ситуаціях може бути логістичним завданням; не допустимий для матеріалів, які розсіюють або поглинають звук, наприклад бетон або лиття з нержавіючої сталі, нееластичні матеріали, наприклад, гума; вимагає високого рівня знань.

Техніки повинні бути знайомі з фізикою та впевнені у своїй здатності аналізувати дані та інтерпретувати результати.

Радіографія – це метод спостереження за внутрішнім станом і структурою компонента за допомогою іонізуючого електромагнітного випромінювання рентгенівських та/або гамма-променів для отримання видимих зображень. Недоліками методу є: відносно дорогий метод; незначні поодинокі дефекти (менше 2% від загальної товщини) зазвичай не виявляються; має бути доступ до обох сторін об'єкта, що перевіряється; вимагає висококваліфікованого персоналу для правильного та безпечного проведення перевірок; радіаційна небезпека.

Візуальне тестування – це метод НК, який передбачає безпосереднє спостереження за виробом. Це найпростіша форма НК. Недоліками методу є: можливість виявити лише поверхневі дефекти; потребує належного освітлення; несприятливі умови, такі як радіація, екстремальні температури або підводне розташування, можуть ускладнити процес контролю; часто виникає потреба у додаткових роботах (очищення або підготовка поверхні, щоб видалити матеріали, які можуть приховати дефекти), це збільшує час перевірки.

Електромагнітне випробування – це метод НК, який використовує електромагнітні поля для виявлення та вимірювання розривів у промислових компонентах. Недоліками методу є: не підходить для непровідних матеріалів, таких як пластик, кераміка або композити; на результат може суттєво вплинути стан поверхні досліджуваного матеріалу; неефективний для виявлення певних типів дефектів, таких як дуже маленькі тріщини або дефекти складної геометрії; інтерпретація сигналів ЕТ може бути складною та потребує кваліфікованого та досвідченого персоналу; чутливий до електромагнітного шуму та перешкод із навколишнього середовища, що може вплинути на точність і надійність результатів тесту; вимагає значних інвестицій в обладнання та навчання.

Методи НК використовуються для виявлення змін у структурі поверхні та внутрішньої структури продукту. Наприклад, за допомогою візуального контролю фахівець може швидко визначити дрібні зміни в обробці поверхні, наявність тріщин або інших фізичних розривів. Такі методи, як радіографія та контроль ультразвуком, надають детальні зображення внутрішніх структур і можуть допомогти технікам оцінити внутрішню якість, наприклад, зварних швів. Магнітопорошковий тест ефективний для виявлення поверхневих і приповерхневих тріщин у феромагнітних матеріалах.

На сучасному етапі розвитку виробництва набув застосування метод неруйнівного контролю за допомогою дронів. Дрони замінюють людину за потреби здійснення контролю у небезпечних замкнутих просторах і забезпечують збір візуальних даних. Дрони дозволяють значним чином скоротити час проведення контрольних перевірок, що забезпечує скорочення витрат на підприємстві. На сьогоднішній день безпілотні літальні апарати в основному використовувалися для збору візуальних даних. Але в останні кілька років, окрім камер, дрони оснащують датчиками, які використовуються в НК, включаючи теплові, ультразвукові, магнітні та радіографічні датчики, що дозволяє збирати ще більше різноманітних даних, навіть не торкаючись виробів.

Як бачимо НК удосконалюється й дозволяє управляти виробничими ризиками, здійснювати постійний моніторинг виробничих процесів на відповідність стандартам якості знижують витрати на виробництво. Тому, важливо знати методи НК, їхні особливості для вірного підбору для конкретного виду виробництва.

Література

1. Gupta M., Khan M. A., Butola R., & Singari R. M. Advances in applications of Non-Destructive Testing (NDT): A review. *Advances in Materials and Processing Technologies*. 2022. Vol. 8(2). P. 2286–2307. <https://doi.org/10.1080/2374068X.2021.1909332>
2. ДСТУ 9118:2022. Технічна діагностика. Діагностування технічного стану матеріалів конструкцій.
3. ДСТУ EN ISO 9712:2022. Неруйнівний контроль. Кваліфікація та сертифікація персоналу неруйнівного контролю (EN ISO 9712:2022, IDT; ISO 9712:2021, IDT).

УДК 621.921.048.6

ЗНОШЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО АБРАЗИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ

WEAR OF GRANULAR ABRASIVE MEDIUM DURING VIBRATION TREATMENT

Пікула Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Вібраційна обробка (ViO) – один з найбільш ефективних методів фінішної обробки деталей, тому останнім часом набуває все більшого застосування. Обробка деталей здійснюється вільними тілами (гранулами) без обов'язкового жорсткого кінематичного зв'язку між ними – під дією вібрації робочої камери. Метод є одним з найбільш ефективних методів виконання оздоблювально-зачищувальних операцій, які становлять 15–40 відсотків від загальної трудомісткості виготовлення деталей. Технологічні можливості ViO дуже широкі – очищення литих заготовок від залишків формувальної та стержневої сумішей, видалення задирок і облою на штампованих заготовках, очищення деталей від експлуатаційних і технологічних забруднень (при відновленні деталей машин). Вібраційні верстати також дозволяють механізувати такі операції як заокруглення гострих кромek, шліфування, полірування, зміцнення поверхонь деталей, підготовка поверхонь під гальванічні і лакофарбові покриття.

Широкому впровадженню вібраційних верстатів також сприяє їх універсальність при обробці великої номенклатури деталей складної форми, можливість обробки поверхонь, важкодоступних для традиційних методів. Тому пошук шляхів підвищення ефективності вібротехнології та створення високопродуктивного обладнання є однією із найбільш актуальних задач подальшого розвитку машинобудування.

Вібраційна обробка, залежно від характеру робочого середовища, є механічним або хіміко-механічним процесом видалення найдрібніших часток металу і його оксидів з оброблюваної поверхні, а також згладжування мікронерівностей шляхом їх пластичної деформації частками робочого середовища, які здійснюють коливальний рух [1].

Робоче середовище складається з твердого та рідкого наповнювачів. Твердий наповнювач – переважно, різальний інструмент або середовище, що запобігає взаємному зіткненню та злипанню деталей, які оброблюють. Рідкий наповнювач (технологічна рідина) використовується для забезпечення видалення продуктів зношування деталей та робочих гранул, змочування та охолодження маси завантаження, інтенсифікації процесу обробки (за допомогою поверхнево-активних речовин), зберігання технологічних властивостей твердого наповнювача (наприклад, для запобігання — засалювання абразивних гранул).

Вібраційна обробка деталей може проводитися в закріпленому стані та з вільним завантаженням. При цьому в першому випадку рух абразивних гранул відносно деталі носить впорядкований характер, а кут удару гранул об оброблювану поверхню залежить від режимів обробки. В другому випадку деталі і гранули мають довільне розташування відносно один одного і стінок робочої камери, тому напрямок удару гранул може бути яким завгодно, переважно – косий удар.

Як вже згадувалося, особливістю ViO є відсутність жорсткого зв'язку між деталлю, яку обробляють, та інструментом (переважно – гранульованим абразивним середовищем) [2]. Тому ViO позбавлена недоліків, характерних при обробці шліфувальними кругами. Навіть при затупленні різальних кромek абразивних гранул практично не підвищується температура

в зоні різання, тому що відсутність жорстких зв'язків у системі «інструмент – деталь» забезпечує високу стабілізацію сил різання. Так, при чорновій обробці (наприклад, очищенні литих заготовок), відсутні такі складові зношення як температурна, дифузійна і адгезійна.

Аналіз надійності елементів технологічної системи ВіО показує, що елементом з найменшою надійністю в системі є робоче середовище, схильне, як і будь-який інструмент, до зношення. Зношування абразивного інструменту багато в чому визначає витрату робочого середовища, якість обробленої поверхні виробу, продуктивність та стабільність процесу. Тому вивчення закономірностей зношування робочого середовища з метою керування стабільністю технологічного процесу ВіО, які залежать від стану робочого середовища (різальної здатності, розмірів і форми абразивних гранул, об'єму завантаження робочої камери тощо) є актуальним завданням.

Для оцінки зношування абразивного інструменту використовують два показники:

- середня швидкість зношування, тобто об'ємна або масова кількість відділеного оброблюваного матеріалу в одиницю часу роботи інструменту;
- питоме зношення, тобто об'ємна або масова кількість зношеного абразиву, віднесена, відповідно, до одиниці об'єму або маси видаленого металу.

Враховуючи, що зношення абразивного середовища при вібраційній обробці має нелінійний характер, перший показник не забезпечує коректності оцінки. Тому найбільш важливим для практики критерієм зношення абразивного інструменту є питоме зношення.

Зношування призводить до зміни різальної здатності абразивних гранул, причинами чого можуть бути такі фактори:

- затуплення різальних кромок абразивних частинок;
- зменшення об'єму завантаження робочої камери;
- зменшення розмірів частинок робочого середовища;
- забруднення робочого середовища продуктами зношення гранул та мікростружкою.

Крім того, абразивні зерна, що беруть участь у процесі різання, при контакті з оброблюваною поверхнею зазнають силового та (частково) теплового впливу, внаслідок чого можливі:

- стирання вершин різальних кромок абразивних гранул, поява на них майданчиків зношування та налиплих частинок металу, що призводить до певного падіння різальної здатності інструменту;
- викришування або сколювання мікрочастинок абразивних зерен внаслідок ударного характеру навантаження та втомного руйнування;
- виривання окремих абразивних зерен із зв'язуючого матеріалу внаслідок контакту з іншими абразивними гранулами.

Враховуючи, що при вібраційній обробці застосовується переважно м'які абразивні гранули, коли міцність закріплення зерен в інструменті нижча за міцність самого абразивного зерна, працює в основному останній механізм зношення, тобто руйнування зв'язків та виривання цілих абразивних зерен. Це має позитивне значення - забезпечує самозагострення абразивних гранул і збереження їх різальної здатності протягом тривалого періоду часу, що, у свою чергу, значною мірою забезпечує стабільність отримання параметрів якості поверхні оброблюваних деталей.

Безумовно, зношення робочого середовища залежить не тільки від об'єму завантаження і фізико-механічних характеристик оброблюваних заготовок, але також і від інших факторів - зернистості та об'ємного вмісту абразиву в гранулі, розміру і форми абразивної гранули, характеристик зв'язування, об'ємного або масового співвідношення заготовок та абразивних гранул.

Аналізуючи дані, наведені у роботі [3], можна помітити значну залежність зношування абразивної гранули від її форми. Порівнюючи наведені в роботі дані щодо зношення та різальної здатності абразивних гранул (вписаних у конус із вершиною 60 градусів), було зазначено, що розмірне зношення гранули і порушення її правильної геометричної форми

відбуваються головним чином через викришування абразивних зерен і виривання їх із зв'язуючого матеріалу. В кінцевому рахунку форма всіх гранул прагне до конусоподібної, маса і розміри гранул зменшуються, а їх різальна здатність суттєво падає. Враховуючи велику вартість виготовлення складних за формою абразивних гранул (порівняно з конусами) і частішу їх заміну при експлуатації у зв'язку з підвищеним зношуванням, можна дійти висновку, що більшу стабільність процесу забезпечують гранули простішої форми.

Таким чином, можна зробити висновок, що робоче середовище є елементом технологічної системи, яке має мінімальну надійність. Тому виявлення закономірностей зношування робочого середовища та прогнозування його зношування дозволять значною мірою нейтралізувати його шкідливі наслідки, виявити критерії непридатності робочого середовища для подальшої експлуатації, підвищити стабільність процесу та якість оброблюваних заготовок, що доводить актуальність досліджень.

Література

1. Повідайло В. О. Вібраційні процеси та обладнання. Львів : Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2004. 248 с.
2. Берник П. С., Ярошенко Л. В., Горбатюк Р. М. Аналіз конструкцій вібраційних технологічних частотних машин для оздоблювально-зміцнювальної обробки деталей. *Вибрації в техніки и технологиях*. 2000. № 2(14). С. 7–14.
3. Лубенская М. Исследование влияние геометрии абразивных гранул на производительность процесса вибрационной обработки. *Вестник КДПУ им. М. Остроградского*. 2009. Вып. 2. Ч. 1. С. 56–59.

УДК 621.77.04

ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІН «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН» ТА «ДЕТАЛІ МАШИН»

USE OF ADDITIVE TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF DISCIPLINES «THEORY OF MECHANISMS AND MACHINES» AND «MACHINE ELEMENTS»

Похильчук Ігор, Стрілець Олег

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Розвиток сучасних технологій у різних галузях науки і техніки потребує інноваційного підходу до навчання та наукових досліджень [1–3]. Однією з таких інновацій є адитивні технології, більш відомі як 3D-друк – одна з форм технологій адитивного виробництва, де тривимірний об'єкт створюється шляхом накладання послідовних шарів матеріалу (друку, вирощування) за даними цифрової моделі. Використання адитивних технологій значно підвищує ефективність вивчення дисциплін «Теорія механізмів і машин» та «Деталі машин», адже дозволяє створювати фізичні моделі складних механізмів, що полегшує розуміння їх принципів роботи та конструкції.

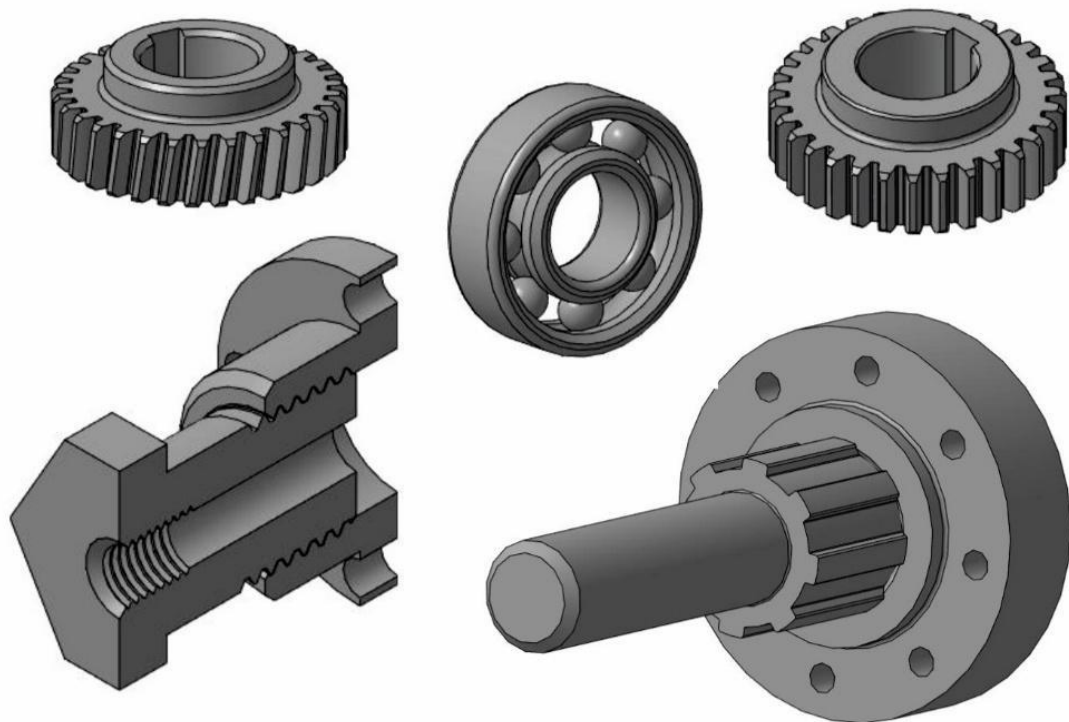


Рис. 1. 3D-моделі деталей та вузлів машин

Використання адитивних технологій у навчальному процесі дозволяє реалізувати більш складні проекти, тобто ставити студентам комплексну задачу, яка пов'язує декілька дисциплін, наприклад, «Теорія механізмів і машин» та «Деталі машин»: методиками дисципліни «Теорія механізмів і машин» [4] визначаються основні геометричні параметри ланок механізму, а методиками дисципліни «Деталі машин» [5] – форми та поперечні перерізи цих ланок. При цьому роботоздатність окремих деталей чи вузлів (рис. 1), або механізму, що проектується, вцілому (рис. 2) контролюється створенням 3D-моделі.

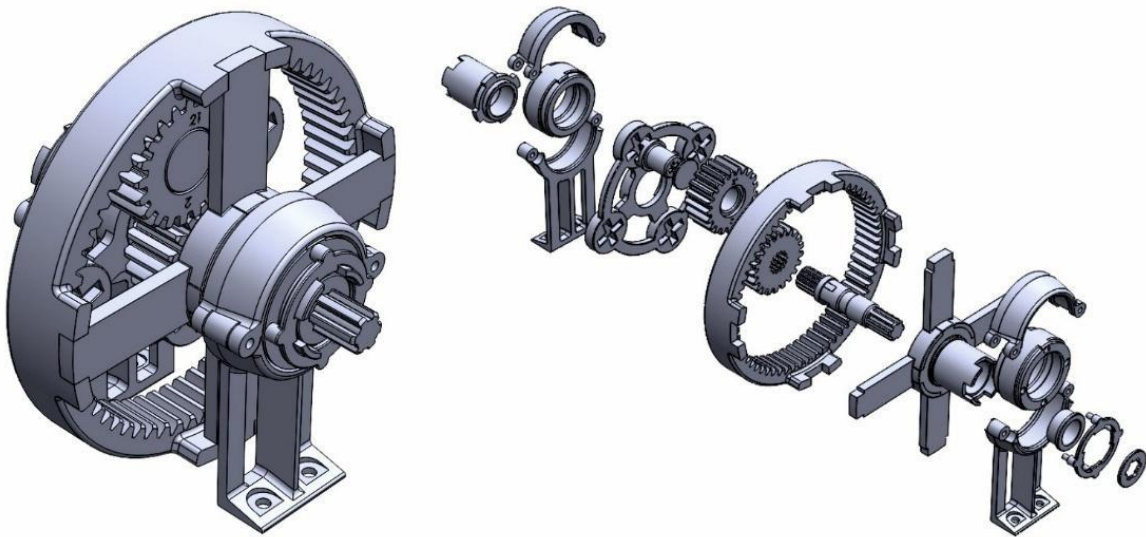


Рис. 2. 3D-модель планетарної передачі

Адитивні технології дозволяють реалізувати навіть найскладніші проекти, створюючи моделі механізмів з високою точністю та деталізацією (рис. 3). Це забезпечує студентам можливість працювати з реальними прототипами, що є незамінним при вивченні конструкцій та принципів дії механізмів.



Рис. 3. Фізичні моделі деталей та вузлів виготовлені за допомогою адитивних технологій

Крім того 3D-друк допомагає візуалізувати абстрактні концепції, які складно зрозуміти за допомогою традиційних методів навчання. Фізичні моделі дозволяють студентам краще

зрозуміти принципи дії механізмів та машин, що є ключовим у вивченні цієї дисципліни.

Важливим фактором використання 3D-друку є оперативність і економія ресурсів. Адитивні технології дозволяють швидко та з мінімальними витратами створювати прототипи механізмів та машин. Це забезпечує ефективніше використання навчального часу та ресурсів, дозволяючи студентам більше уваги приділити дослідженням, аналізу та вдосконаленню своїх проектів.

3D-друк сприяє інтерактивному навчанню, дозволяючи студентам самостійно створювати моделі та експериментувати з ними. Це підвищує їхню зацікавленість у навчанні та сприяє розвитку креативного мислення та інженерних навичок.

Практичне застосування адитивних технологій полягає у створенні навчальних моделей: базових та для конкретного проекту.

На заняттях з дисциплін «Теорія механізмів і машин» та «Деталі машин» студенти можуть використовувати раніше створені 3D-моделі, або використовувати 3D-друк для створення моделей проектуємих механізмів. Це дозволяє краще зрозуміти їхню будову та принципи роботи, а також виявляти можливі проблеми та способи їх вирішення.

Адитивні технології відкривають нові можливості для розробки інноваційних проектів. Студенти можуть експериментувати з різними конструкціями та матеріалами, створюючи нові механізми та машини, які можуть знайти практичне застосування в різних галузях промисловості.

Використання адитивних технологій у навчально-дослідницьких проектах дозволяє студентам проводити глибокі дослідження та аналіз різних механізмів. Це сприяє розвитку науково-дослідницьких навичок та підготовці до майбутньої професійної діяльності.

Прикладом успішного використання адитивних технологій є проектування механізмів, їх моделювання та симуляція.

У багатьох навчальних закладах адитивні технології використовуються для проектування механізмів, що значно полегшує процес навчання. Наприклад, студенти можуть створювати моделі зубчастих передач, кривошипно-шатунних механізмів або інших складних систем, які важко вивчити лише за допомогою теоретичних знань.

Адитивні технології також використовуються для моделювання та симуляції роботи різних механізмів. Це дозволяє студентам проводити випробування створених моделей, аналізувати їхні характеристики та вдосконалювати конструкції.

Використання 3D-друку в наукових дослідженнях дозволяє створювати точні моделі механізмів та машин, що сприяє проведенню експериментів та отриманню нових знань. Адитивні технології значно розширюють можливості наукових досліджень у галузі машинобудування.

Отже, адитивні технології відкривають нові горизонти для вивчення дисциплін «Теорія механізмів і машин» та «Деталі машин». Використання 3D-друку у навчальному процесі сприяє підвищенню ефективності навчання, розвитку інженерних навичок та творчого мислення студентів. Це інноваційний підхід до навчання, який дозволяє краще зрозуміти складні механізми та розширює можливості для реалізації найскладніших проектів.

Література

1. 3D Printing: Understanding Additive Manufacturing, Andreas Gebhardt, Julia Kessler, Laura Thurn, Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2018. 204 p.
2. 3D Printing: Technology, Applications, and Selection, Rafiq Noo-rani, CRC Press, 2017. 271 p.
3. Advances in 3D Printing & Additive Manufacturing Technologies, David Ian Wimpenny, Pulak M. Pandey, L. Jyothish Kumar, Springer, 2016. 186 p.
4. Кіндрацький Б. І. Теорія механізмів і машин: лабораторний практикум. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2008. 136 с.
5. Малащенко В. О., Стрілець В. М., Новіцький Я. М., Стрілець О. Р. Деталі машин і підйомно-транспортне обладнання : навч. посіб. 2-ге видання. Львів : «Новий світ-2000», 2020. 347 с.

УДК 624.078:006.91

ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ

IMPROVEMENT OF TECHNICAL CONTROL OF METAL STRUCTURES OF COMPLEX SHAPE USING DESCRIPTIVE GEOMETRY METHODS

Тимошук Олександр, Козяр Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Технічний контроль металоконструкцій є невіддільною компонентою забезпечення якості їх виготовлення. Конструкції, що мають будову, яка що піддається тривіальному візуально-вимірювальному підходу, не створюють труднощів під час контролю їхніх параметрів. Досить складним видається технічний контроль конструкцій, що мають нестандартну форму, що вимагає досить складних маніпуляцій під час валідації їхніх геометричних параметрів.

Контроль параметрів металоконструкцій нестандартної форми у переважній більшості здійснюється шляхом використання стендів, шаблонів, протязок чи інших засобів, що дозволяють проконтролювати форму і геометричні параметри металоконструкції [1]. Сучасні тенденції передбачають використання п'єзоелектричних або волоконно-оптичних сенсорів, що дозволяє виконувати моніторинг форми й параметрів металоконструкції [2]. Безперечно такі підходи є обґрунтованими, однак вони є досить ресурсомісткими з погляду залучення великої кількості матеріальних ресурсів, часу та фахівців вузької спеціалізації.

В умовах одиничного, малосерійного або виробництва з обмеженим бюджетом доцільно використовувати методи геометричного моделювання та проєкціювання. Доречно відмітити, що нарисна геометрія є невід'ємною частиною підготовки будь-якого інженера, що дозволить використовувати методи нарисної геометрії серед широкого загалу фахівців технічного контролю.

Розглянемо деякі методи нарисної геометрії для удосконалення технічного контролю металоконструкцій складної форми:

1. **Проекціювання.** До прикладу необхідно виконати контроль перпендикулярності частин складної просторової ферми. Для цього необхідно спроекціювати ферму на дві або три взаємно перпендикулярні площини (горизонтальну, фронтальну, профільну). Контроль за таких умов виконується наступним чином: на проєкціях перевіряємо, чи відповідають проєкції досліджуваних елементів, які за проєктом повинні бути перпендикулярними, перпендикулярності на площині проєкції. У випадку якщо дві прямі перпендикулярні в просторі і одна з них паралельна площині проєкції, то їх проєкції також будуть перпендикулярними. Якщо жодна пряма не паралельна площині проєкції, перпендикулярність спотворюється. Як приклад наведемо такий розрахунок: існує стійка АВ і розкоси ВС та BD, контрі за проєктною документацією повинні бути перпендикулярними до неї. В якості технічних засобів достатньо використати теодоліт та тахометр, які дозволять на виготовленій металоконструкції виміряти кути та відстані між точками у просторі. Тобто Отримані координати точок В, С, D відносно А можуть бути використані для розрахунку косинуса кута між векторами АВ і ВС (або АВ і BD) за формулою скалярного добутку:

$$\cos(\angle) = (AB \cdot BC) / (|AB| * |BC|). \quad (1)$$

У випадку, якщо скалярний добуток дорівнює нулю, вектори перпендикулярні.

2. **Перерізи.** Цей метод допомагає у контролі точності виготовлення елементів складної форми (гнуті елементи, форма отворів, що виготовлені у циліндричних деталях

тощо). Припустимо ми маємо еліптичний люк у циліндричній оболонці (рисунок). Передусім нам потрібно мати параметри згідно із проектом, а саме: радіус циліндра R , розміри великої та малої осей еліпса, положення центру еліпса на поверхні циліндра, кут нахилу площини, що утворює еліптичний отвір, відносно осі циліндра – кут α



Рисунок. Ескізне зображення: еліптичний люк у циліндричній оболонці

Метод перерізів нам знадобиться саме для підготовки еталонного кондуктора. Для його підготовки необхідно на основі даних R та кута α розрахувати параметри еліпса, який утворюється в перерізі циліндра площиною, що відповідає положенню отвору. За таким підходом мала вісь еліпса дорівнюватиме діаметру циліндра, а велика вісь еліпса залежатиме від кута α й визначатиметься як довжина хорди циліндра в площині перерізу. Таким чином якщо центр еліпса перебуває на осі циліндра, велика вісь буде дорівнювати $2R / \cos(\alpha)$. У протилежному випадку, розрахунок буде менш тривіальним і вимагатиме врахування цього зміщення (хоча на практиці такий випадок дуже мало ймовірний).

На основі таких розрахунків виготовляється фізичний шаблон для технічного контролю еліпса. Рекомендований матеріал для виготовлення – жорсткий пластик або тонколистовий метал. Безпосередній контроль здійснюється шляхом візуальної оцінки збігу контуру виготовленого отвору з контуром шаблону по всьому периметру.

Таким чином методи нарисної геометрії, а саме проєкціювання та перерізи, мають значний потенціал в удосконаленні підходів технічного контролю нестандартних металоконструкцій. На відміну від ресурсомістких сучасних методів, таких як використання спеціалізованих стендів, кондукторів, датчиків, підходи, що ґрунтуються на принципах нарисної геометрії, є більш доступними та можуть бути реалізовані широким колом інженерів технічного контролю завдяки базовій інженерній підготовці.

Перспективи подальших досліджень вбачаємо у розширенні застосування метричних задач для просторового контролю розташування елементів металоконструкцій й візуального порівняння складних конструкцій за допомогою аксонометричних проєкцій.

Література

1. Saaed T. E., Nikolakopoulos G., Jonasson J. E., & Hedlund H. A state-of-the-art review of structural control systems. *Journal of Vibration and Control*. 2015. Vol. 21(5). P. 919–937.
2. Spencer Jr, B. F., & Nagarajaiah S. State of the art of structural control. *Journal of structural engineering*. 2003. Vol. 129(7). P. 845–856.

УДК 621.77.44

ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРИ ВИВЧЕНІ СИНТЕЗУ ВАЖІЛЬНИХ МЕХАНІЗМІВ

APPLICATION OF ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES IN THE STUDY OF LEVER MECHANISMS SYNTHESIS

Юскович Артем, Похильчук Ігор

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Аддитивні технології виробництва набувають все більшої популярності та застосування в різних галузях промисловості: медицина, автомобілебудування, авіація, будівництво, тощо [1]. Вони дозволяють створювати складні геометричні форми, які досить важко, а інколи майже неможливо отримати традиційними методами обробки. Інженери-конструктори використовують аддитивні технології для створення прототипів з різних матеріалів, включаючи пластик, метал та кераміку, що дозволяє досліджувати різні варіанти конструкцій для досягнення оптимальних характеристик роботи механізмів. Сфера використання цього нового методу виробництва щодня розширюється, перелік і якість доступних матеріалів збільшується.

Майбутні технічні фахівці, під час здобуття вищої освіти вперше стикаються з задачею практичного конструювання і проектування машин під час вивчення дисципліни «Теорія механізмів і машин», [2], на молодших курсах. На рис. 1 показано приклад завдання, яке полягає в виконанні синтезу важільного механізму за заданою структурною схемою та частково відомими геометричними розмірами, з подальшим кінематичним та силовим аналізом.

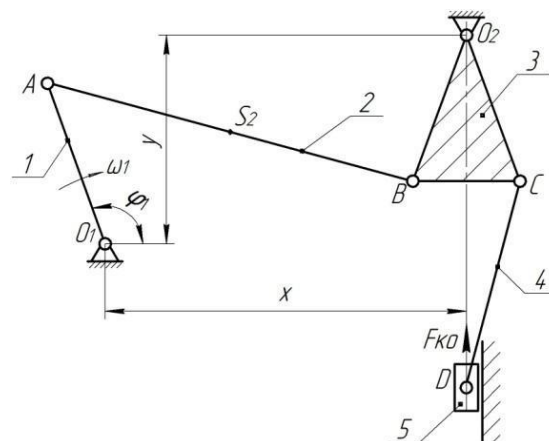


Рис. 1. Приклад завдання для синтезу та аналізу важільного механізму

Враховуючи швидкість розвитку і поширення адитивних технологій, зокрема, в технічній галузі, важливо залучати майбутніх технічних фахівців до використання їх можливостей як найраніше.

Основною перевагою використання 3D-друку є можливість моделювання та виготовлення механізмів безпосередньо з цифрових моделей, що значно скорочує час та витрати на розробку, [3]. Крім того, ці технології дозволяють здійснювати швидкі коригування та оптимізацію конструкцій на основі отриманих результатів аналізу та експериментів.

На рис. 2 показано виготовлену за допомогою 3D-друку фізичну модель механізму, схема якого показана на рис. 1. Створення даної моделі вимагає від здобувача вищої освіти використання навик комп'ютерної графіки, що забезпечить не переривання зв'язку між інженерним розрахунком і графічним представленням отриманих результатів.



Рис. 2. Готова фізична модель спроектованого механізму

Отримавши натурний виріб, як кінцевий результат математичного розрахунку, студент зможе краще засвоїти матеріал дисципліни «Теорія механізмів і машин», наочно і тактильно спостерігати вплив зміни певних числових геометричних, кінематичних чи силових параметрів на роботу механізму.

Усе згадане покращить і збагатить досвід, що отримують здобувачі вищої освіти, і сприятиме їх якісному і всебічному розвитку як майбутніх технічних фахівців.

Література

1. Адитивні технології : навч. посіб. / Т. Р. Ганєєв, І. О. Прибисько, М. М. Руденко, І. О. Петренко. Чернівці : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. 105 с.
2. Кіндрацький Б. І. Теорія механізмів і машин: лабораторний практикум. Львів : КІНПАТРИ ЛТД, 2008. 136 с.
3. Похильчук І., Стрілець О. Використання адитивних технологій при вивченні дисциплін «Теорія механізмів і машин» та «Деталі машин» Міжнародна науково-практична конференція «Інновації в агропромисловому комплексі, машинобудуванні та транспорті». НУВГП, Рівне, 9–10 квітня 2025 р. С. 172–174.

НАУКОВА СЕКЦІЯ 4
РОЗУМНИЙ ТРАНСПОРТ ТА ЛОГІСТИКА

УДК 656.1

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

IMPROVING THE ECONOMIC EFFICIENCY OF INTERNATIONAL FREIGHT TRANSPORTATION

Бережняк Іванна, Сорока Валерій, Дорошук Вікторія, Сліпенький Євгеній

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Складна транспортно-логістична система є основою світової економіки, забезпечуючи глобальний рух товарів та послуг.

У контексті зростаючої комплексності міжнародних транспортних операцій актуалізується гостра потреба у формуванні міжнародної нормативно-правової бази для їх безпеки та ефективності.

Підвищення ефективності бізнесу безпосередньо пов'язане з оптимізацією логістики, особливо зі скороченням часу доставки та витрат на транспортування.

Економічна ефективність являє собою багатоаспектну категорію, що включає, крім фінансових показників роботи підприємства, його інноваційну спроможність та адаптивність до динаміки ринкового середовища. У зв'язку з цим, для здійснення комплексної оцінки ефективності необхідно проводити аналіз широкого спектру релевантних показників (рисунок).



Рисунок. Можливі сфери дослідження економічної ефективності

Оптимальний вибір маршруту має значний позитивний вплив на ключові аспекти логістичних операцій, такі як швидкість доставки, витрати палива та амортизація транспортних засобів, що в результаті підвищує загальну ефективність логістичної діяльності.

Процес вибору оптимального маршруту є комплексною задачею, що потребує застосування системного підходу. Водночас, саме завдяки скрупульозному аналізу всіх

релевантних факторів, зменшенню холостих пробігів, узгодженню маршрутів між різними видами транспорту, залученню мультимодальних перевезень стає можливим досягнення значної оптимізації витрат та покращення якісних характеристик логістики. Об'єднання невеликих відправок в більші партії дозволяє знизити витрати на транспортування за одиницю вантажу. Гнучке реагування на зміни в дорожній обстановці, погодні умови або затримки дозволяє мінімізувати простой та оптимізувати час доставки.

Підвищення економічної ефективності міжнародних вантажних перевезень можливе за рахунок впровадження інновацій, оптимізації маршрутів, цифровізації, співпраці та сталого розвитку. Впровадження систем TMS (Transport Management System) та WMS (Warehouse Management System) для автоматизації процесів, застосування електронного документообігу, включаючи e-CMR, відстеження вантажів у реальному часі (GPS-моніторинг, RFID-технології, Інтернет речей (IoT)) дозволить швидко адаптуватися до сучасних логістичних викликів і комплексно управляти транспортними процесами.

Також покращення результатів міжнародних вантажних перевезень можливе завдяки впровадженню сучасних технологій, таких як аналіз великих обсягів даних (Big Data & Analytics) для виявлення закономірностей, прогнозування попиту, удосконалення маршрутів та інших аспектів, застосування штучного інтелекту AI та машинного навчання ML для автоматизації прийняття рішень, оптимізації складних логістичних процесів та прогнозування ризиків, використання блокчейну для підвищення прозорості та безпеки ланцюгів постачання, спрощення документообігу та зменшення адміністративних витрат, перехід на електронний обмін даними для прискорення обробки документів та зменшення паперової тяганини.

Впровадження комплексних заходів з оптимізації парку транспортних засобів, таких як використання вантажівок з більшою вантажопідйомністю або паливною ефективністю, планування з урахуванням маси, об'єму, часу доставки та можливостей зворотного завантаження, надасть підприємствам можливість суттєво мінімізувати операційні витрати та підвищити якісні характеристики послуг, що, в свою чергу, сприятиме зміцненню їхніх конкурентних позицій.

Якісна організація обслуговування клієнтів, скорочення часу обробки запитів, гнучке планування перевезень з урахуванням потреб замовників, впровадження KPI для вимірювання ефективності сервісу є запорукою успіху на ринку транспортних послуг.

З метою досягнення позитивної динаміки зростання прибутковості транспортному підприємству необхідно реалізувати інтегрований комплекс заходів, спрямованих на розширення обсягів перевізної діяльності, мінімізацію операційних витрат та підвищення якісних характеристик послуг, що надаються.

Завдяки інтеграції перевірених методів управління з сучасними технологічними рішеннями та безперервному професійному розвитку персоналу, транспортні компанії отримують можливість зайняти провідні позиції на міжнародному конкурентному середовищі.

Література

1. Instrumenty zarządzania logistycznego / pod red. M. Ciesielskiego. Warszawa : Polskie Wyd-wo Ekonomiczne, 2006. 180 s.
2. Дорошук В. О., Сорока В. С., Сліпенький Є. Б., Голотюк М. В., Бережнюк І. А. Дослідження економічної ефективності використання транспортних засобів при перевезенні вантажів на міжнародних маршрутах. *Вісник НУВГП. Сер. Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 4(108). С. 408–416.
3. Трушкіна Н., Сербіна Т. Міжнародна логістика у системі зовнішньоекономічної діяльності підприємства. *International Science Journal of Management, Economics & Finance*. 2022. Vol. 1, No. 3. Рр. 101–114.

УДК 355.41

РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (В ЧАСТИНІ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ)

RECOMMENDATIONS FOR IMPROVING THE EFFICIENCY OF LOGISTICS (IN PART OF EVENT PLANNING)

Горбачова Яна, Сампір Олександр

Національний університет оборони України, просп. Повітряних Сил, 28, м. Київ, 03049

The report provides a list of objective and subjective factors that affect the efficiency of logistics tasks. Based on the analysis of the impact of the above factors, recommendations are made to improve the efficiency of logistics support.

Логістика, як система підготовлених організаційно-технічних заходів по зберіганню, навантаженню (розвантаженню) транспортуванню вантажів досягає необхідного рівня ефективності у випадку максимального врахування факторів, які можуть мати вплив на кінцевий результат, а саме на: цілісність вантажу, визначений термін його доставки на місце розвантаження та забезпечення збереження, при цьому, здоров'я технічного персоналу і справного технічного стану транспортного засобу.

До основних факторів, які можуть мати вплив на ефективність логістики, відносяться:
пора року та погодні умови;

особливості маршруту;

характеристика вантажу та його відповідність вантажнопід'ємності транспортного засобу;

наявність технічно справних вантажно-розвантажувальних засобів в пунктах відправки і отримання вантажу; кваліфікація та практичний досвід задіяного технічного персоналу на всіх етапах логістики.

Для контролю на усіх етапах транспортування вантажів та організації оперативного реагування на форс-мажорні ситуації у суб'єкта логістики має бути диспетчерська служба, від кваліфікації і дисциплінованості членів якої залежатиме очікувана ефективність логістики у цілому. Для наочності і оперативного реагування на непередбачувану поточну ситуацію в диспетчерській службі має вестись робоча документація у вигляді «Диспетчерської дошки» (табл. 1) [1].

Таблиця 1

Диспетчерська дошка

Найменування показників		Кількість автомобілів та причепів по суб'єктах (підприємствах-замовниках)				
		ТОВ «1»	ТОВ «2»	ТОВ «3»	ТОВ «4»	ТОВ «5»
Готових до рейсу	Автомобілів					
	Причепів					
У рейсі	Автомобілів					
	Причепів					
На технічному обслуговуванні	Автомобілів					
	Причепів					

Примітка. ТОВ «1» – Товариство «1»

А для плановості виконання логістичних завдань на великих логістичних підприємствах, з метою рівномірного завантаження технічних засобів і технічного персоналу має бути планування, наприклад у вигляді діаграми німецького інженера Ганта (табл. 2).

Таблиця 2

Основні складові плану заходів

№ з/п	Назва заходу	Дата/термін/вартість										
		1.01	2.01	3.01	4.01	5.01	6.01	...	28.01	29.01	30.01	31.01
1	Планування											
1.1	організаційно-											
...	технічних											
1.n	заходів											
2	Виконання											
2.1	заходів											
...												
2.n												
3	Контрольні											
3.1	заходи											
...												
3.n												
4	Підсумкові											
4.1	заходи											
...												
4.n												

Примітка. 1. 1-й термін – в людино-годинах робочих днів.

2. Вартість – у визначених умовних одиницях.

Основними завданнями диспетчерської служби є забезпечення виконання встановленого плану перевезень вантажів, забезпечуючи при цьому вимоги з безпеки перевезень та економію матеріальних та паливно-мастильних матеріалів транспортних засобів.

Для контролю оцінки ефективності системи перевезень, бажано планування перевезень виконувати по формі діаграми Ганта [2].

Отже, наявність етапу планування основних заходів логістичного забезпечення сприяє раціональному використанню матеріально-технічних і грошових ресурсів, що і забезпечує ефективність функціонування системи логістики в суб'єкті підприємницької діяльності.

Література

1. Автомобільна бригада (полк, окремий автомобільний батальйон): настанова. ВКДП 4-32(03).01. Київ : КСЛ ЗСУ, 2020. 83 с.

2. Сітловий графік, його елементи і параметри. URL: <https://ua.kursoviks.com.ua>. (дата звернення: 01.04.2025).

УДК 330.3

**ЦИФРОВА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОЮ
ДІЯЛЬНІСТЮ**

**DIGITAL MODEL FOR MANAGING TRANSPORT AND FREIGHT FORWARDING
ACTIVITIES**

Загурський Олег¹, Загурська Світлана²

¹Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ

²Київський обласний інститут післядипломної освіти педагогічних кадрів, м. Біла Церква

Global supply chains are increasingly dependent on the implementation of modern information technologies. This study examines the principles of applying a digital model for interaction and management in transport and freight forwarding activities. The proposed approach enables real-time tracking of transport assets and cargo while facilitating the integration of digital and physical entities through distributed information management systems.

Цифрові технології розвиваються з експоненційною швидкістю, докорінно змінюючи суть бізнесу, дематеріалізуючи, демонетизуючи та демократизуючи кожну галузь економіки. Логістика одна з тих галузей, які всі більше залежать від впровадження сучасних інформаційних технологій, що сприяють зменшенню витрат, поліпшенню якості процесів та збільшенню прозорості. Тому сьогодні для досягнення конкурентної переваги у цій галузі необхідні нові підходи та моделі, які забезпечують максимальну цінність товарів, що просуваються по ланцюгам постачань. Одним з таких підходом є концепція цифрового ланцюга постачань (DSC), який використовує принципи спільної економіки та технології блокчейн [3]. Згідно їй, постачальники розглядаються як партнери, які сприяють інженерії та розробці нових ідей та процесів. Виконуючи різні ролі, конкуруючи за частку прибутку та співпрацюючи при цьому, вони встановлюють прозоре та довірче середовище через інформаційну організацію основних засад цієї співпраці. Як стверджують П. Бартлетт, Д. Жюльєн і Т. Бейнс [1], саме собою збільшення прозорості вже наводить до більшої продуктивності, тому що учасники через збільшену можливість бачити реальну ситуацію можуть краще планувати свої дії по всьому ланцюжку поставок.

Іншим сучасним напрямком є розробка цифрових моделей для оптимізації управління транспортною експедицією різними видами транспорту. Для визначення економічної доцільності використання певного виду транспорту, необхідно враховувати, як загальні, і специфічні транспортні і логістичні чинники.

Повний процес експедирування вантажів включає кілька видів послуг:

1. Пошук оптимального виду транспорту для транспортування вантажу до пункту призначення. У цьому процесі обов'язково враховуються характеристики, параметри вантажу, маса та передбачуваний маршрут пересування.

2. Підбір на основі моделювання та планування найраціональнішого маршруту з урахуванням швидкісних обмежень та запитів клієнтів. Завдяки детальному планування та опрацювання ситуацій під час розробки маршруту маємо такий спосіб експедирування вантажу, при якому клієнт отримує самий економічно вигідний, зручний та безпечний маршрут.

3. Оформлення та супровід всього необхідного для перевезення комплект документів. В результаті чого, у клієнта не виникає жодних питань та проблем з митними процедурами та страхуванням вантажу, оскільки весь документообіг, як правило, включений за умовами надання послуги експедирування вантажів [3].

Цифровий підхід до організації вантажних перевезень має на увазі нове методологічну

основу та зміст, який визначає, що основний складовою вантажоперевезень буде проектування оптимального транспортного та раціонального перевізного процесу. Під цією формулюванням розуміється пошук кращих організаційних, управлінських та доступних технічно рішень, які забезпечать максимальну ефективність при перевезенні вантажів за певним за допомогою технологій штучного інтелекту маршруту. На основі Інтернету речей (IoT) реалізується новий метод мережного управління, можливі завдяки наявності в системі керування транспортного об'єкта або елемента інфраструктури, що впливає на транспортний потік інтелектуальних цифрових приладів та датчиків, що приймають та передають сигнал керування. В основі концепції Інтернету речей закладено декілька інноваційних технічних рішень, яких не вистачає іншим сучасним систем управління. Насамперед це програмне конфігурування логістичного ланцюга, на основі даних, умов та інформації від інтелектуальних датчиків та від стану завантаження маршрутної та дорожньої мережі. За рахунок розподілених інтелектуальних вузлів реалізується концепція, при якій обробка інформації відбувається безпосередньо на власне бортовому комп'ютері пристрою, а результат за допомогою розподіленого управління синхронізується з центром управління, в якому тільки приймаються підсумкові рішення. Приклад різних варіантів застосування IoT для температурного контролю швидкопсувних продуктів у режимі реального часу відображено на рис. 1.

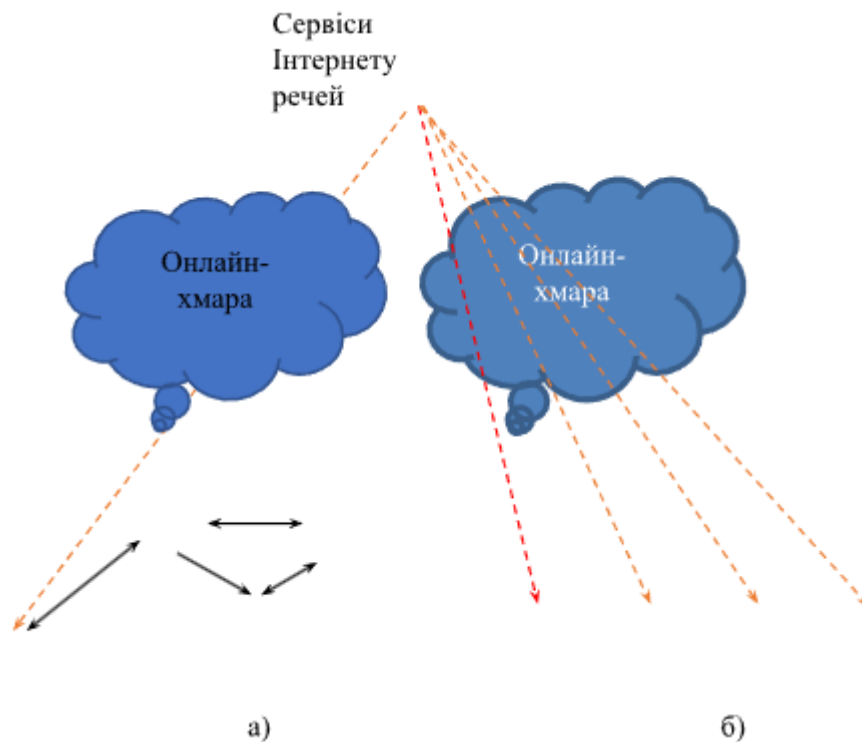


Рис. 1. Схема організації відстеження процесу перевезення вантажу з використанням технології IoT:
а) збір температурних даних; б) критерії критичних контрольних точок

Завдяки накопиченню в інтелектуальних вузлах досвіду та управлінських прецедентів, управління в повторюваних випадках може бути оптимізовано, так само, як і в нових ситуаціях може бути засноване вже на перевіреному управлінському досвіді.

Цифрова транспортна модель завдяки програмно-конфігурованій мережі ланцюгів постачань та інтелектуальних інформаційних технологій, в основі яких математичний апарат штучних нейронних мереж для прогнозування вантажопотоків реалізує новий метод організації та управління експедиційною діяльністю. У цій моделі весь обмін інформацією та всі взаємини експедиторів з транспортними організаціями, вантажовідправниками та вантажоодержувачами реалізуються з за допомогою цифрової взаємодії та обміну

УДК 656.13

ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИКИ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ

TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION OF LOGISTICS IN THE TRANSPORT SECTOR

Никончук Вікторія

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

The article discusses the technological transformation of logistics in the transport sector. It covers the integration of digital technologies, such as IoT, AI, and cloud platforms, which improve supply chain management and reduce transportation costs. The focus is also placed on sustainability in logistics, including the adoption of energy-efficient transport and "green logistics" strategies to reduce environmental impact. The paper highlights the importance of technological innovation in modernizing logistics systems and achieving greater efficiency and competitiveness in the industry.

У сучасних умовах глобалізації та стрімкого розвитку цифрових технологій логістика у транспортній сфері зазнає суттєвих змін. Технологічна трансформація охоплює не лише впровадження інноваційних рішень, а й переосмислення підходів до управління транспортними процесами. Така еволюція дозволяє створювати більш ефективні, гнучкі та екологічно сталі логістичні системи, здатні відповідати викликам часу. Одним із ключових аспектів цієї трансформації є оптимізація логістичних процесів, що забезпечує ефективне функціонування транспортно-логістичних систем у нових умовах [1].

Модель інтеграції цифрових технологій у логістичні процеси тісно пов'язана з концепцією розвитку розумного транспорту, оскільки включає використання сучасних технологій для покращення управління товарними потоками, зниження витрат і впливу на довкілля (рисунок).

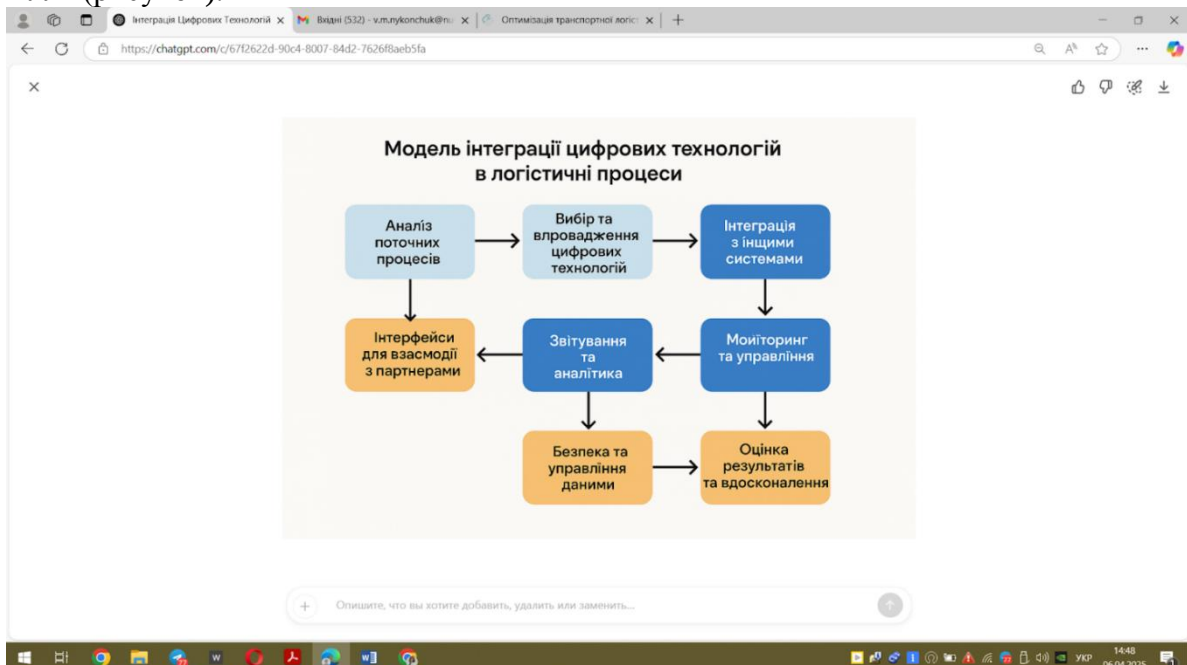


Рисунок. Модель інтеграції цифрових технологій у логістичні процеси

Вона охоплює аналіз поточних операцій, вибір технологій для автоматизації та відстеження вантажів, а також інтеграцію систем для обміну даними, що дозволяє

забезпечити точність і швидкість доставки. Моніторинг у реальному часі через IoT, а також кіберзахист і блокчейн-технології сприяють підвищенню ефективності на всіх етапах логістики – від планування до доставки, що дозволяє оптимізувати процеси і зробити їх більш гнучкими та стійкими.

У контексті розвитку розумного транспорту вона передбачає широке використання сучасних технологій, спрямованих на покращення управління потоками товарів, підвищення точності та швидкості доставки, а також зниження витрат і негативного впливу на довкілля. Логістика при цьому охоплює комплекс дій з планування, організації, контролю та моніторингу всіх етапів переміщення вантажів — від пункту відправлення до кінцевого одержувача. Інтеграція цифрових технологій, таких як автоматизація процесів, використання IoT для моніторингу в реальному часі, а також застосування аналітики для прогнозування попиту і оптимізації маршрутів, дозволяє значно підвищити ефективність і зменшити людську помилку. Це також сприяє зменшенню витрат і підвищенню стійкості логістичних ланцюгів, що є важливим елементом для забезпечення сталого розвитку у сфері транспорту і логістики.

Вона включає вибір оптимальних маршрутів, організацію транспортних засобів, управління складами, обробку митних формальностей, а також забезпечення ефективної взаємодії між усіма учасниками логістичного процесу, включаючи постачальників, перевізників і кінцевих споживачів. Одним з ключових завдань є зменшення витрат і часу на транспортування, при цьому забезпечуючи високу надійність та безпеку вантажу. Крім того, сучасні технології і автоматизація процесів дозволяють оптимізувати логістичні операції, підвищуючи ефективність і конкурентоспроможність підприємств на ринку.

Одним із визначальних напрямів модернізації логістики у транспортній сфері є активне впровадження цифрових технологій. Цифровізація охоплює широке коло інструментів – від GPS-навігації та систем моніторингу в реальному часі до хмарних сервісів, штучного інтелекту та Інтернету речей. Так, цифровізація логістичних процесів дозволяє інтегрувати різні етапи поставок, що забезпечує безперервність і синхронізацію роботи в режимі реального часу. Наприклад, використання систем управління ланцюгами поставок (SCM) і складськими системами (WMS) дає змогу ефективно управляти запасами та автоматизувати процеси поповнення складів. Штучний інтелект може прогнозувати потреби в ресурсах, допомагаючи запобігати дефіцитам або надлишкам продукції [2].

Впровадження Інтернету речей (IoT) дозволяє моніторити стан вантажу та технічний стан транспортних засобів, що дає можливість проводити превентивне обслуговування та знижує ймовірність несправностей. Хмарні платформи забезпечують зручність доступу до даних для всіх учасників логістичного процесу, дозволяючи їм у будь-який час отримувати актуальну інформацію та вносити корективи у реальному часі.

Використання таких рішень дозволяє підвищити прозорість перевезень, забезпечити точне планування маршрутів, оперативно реагувати на затримки, а також оптимізувати управління транспортними засобами. Це, у свою чергу, сприяє зменшенню ризиків і підвищенню надійності логістичних операцій.

Водночас важливим чинником підвищення ефективності логістичних систем є налагоджене управління ланцюгом постачання. Йдеться про координацію взаємодії між усіма учасниками процесу – постачальниками, перевізниками, операторами складів і кінцевими споживачами. Завдяки цифровій інтеграції інформаційних потоків стає можливим своєчасне оновлення даних, оперативне реагування на зміни попиту, уникнення надлишкових запасів і покращення якості обслуговування. Сучасні логістичні моделі базуються на принципах гнучкості, адаптивності та раціонального використання ресурсів.

Окрему увагу в межах технологічної трансформації приділяють екологічному аспекту, що відповідає концепції сталої мобільності. Упровадження енергоефективного транспорту, скорочення викидів шкідливих речовин, оптимізація маршрутів з урахуванням завантаженості доріг та зменшення пробігу – усе це сприяє збереженню довкілля. Значний

потенціал має також удосконалення процесів доставки на останньому етапі маршруту, так звана «остання миля», що враховує специфіку міської інфраструктури, зменшує затори та позитивно впливає на екологічну ситуацію в населених пунктах.

Крім того, розвиток електричних та гібридних транспортних засобів стає важливим кроком у зменшенні залежності від викопних енергоносіїв та зниженні викидів CO₂. Впровадження інноваційних технологій у транспорті, таких як автономні транспортні засоби та дрони для доставки, відкриває нові можливості для підвищення ефективності та зниження негативного впливу на навколишнє середовище. Технології автоматичного керування та моніторингу також дозволяють знижувати рівень людського фактору та забезпечувати більшу точність у виконанні замовлень.

Окрім того, на практиці впровадження концепцій «зеленої логістики» і сталого транспорту дозволяє компаніям не лише покращити свою екологічну відповідальність, а й значно знизити витрати на енергоносії та транспортні послуги. Таким чином, технологічна трансформація в логістиці не лише сприяє оптимізації операцій, але й вносить значний внесок у сталий розвиток і поліпшення якості життя в міських агломераціях.

У підсумку, технологічна трансформація логістики є важливим фактором для забезпечення ефективного, стійкого та екологічного функціонування транспортних систем у сучасному світі. Впровадження цифрових технологій, таких як Інтернет речей, штучний інтелект, хмарні платформи та автоматизація, створює нові можливості для покращення управління ланцюгами поставок, підвищення прозорості та зниження витрат. Водночас, фокус на екологічних аспектах, таких як енергоефективний транспорт, зменшення викидів та «зелена логістика», дозволяє значно знизити вплив на навколишнє середовище.

Інтеграція цих інноваційних рішень дозволяє не лише оптимізувати логістичні процеси, а й забезпечити стаке економічне зростання, підвищити конкурентоспроможність підприємств та сприяти розвитку інфраструктури. В умовах глобалізації та швидкого технологічного прогресу, адаптація до нових викликів та використання передових технологій стають ключовими факторами для досягнення успіху в галузі логістики та транспорту.

Література

1. Nykonchuk V., Vakulenko K., Pashkevych S., Sokolova N. Development of Transport and Logistics Infrastructure in Ukraine: Prospects and Challenges / In: Slavinska O., Danchuk V., Kuniyska O., Hulchak O. (eds) *Intelligent Transport Systems: Ecology, Safety, Quality, Comfort. ITSESQC 2024. Lecture Notes in Networks and Systems*. 2025. Vol. 1336. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-87379-9_23
2. Клімов С. В., Никончук В. М., Хітров І. О. Застосування технологій штучного інтелекту в інформаційних системах на автомобільному транспорті. *Вісник НУВГП. Технічні науки* : зб. наук. праць. Рівне : НУВГП, 2024. Вип. 1(105). С. 297–316. URL: <http://ep3.nuwm.edu.ua/id/eprint/31599>. (дата звернення: 01.04.2025).

УДК 631.372:629.115

РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОПАРКУ

DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED ACCOUNTING SYSTEM FOR VEHICLE FLEET MAINTENANCE

Рижий Олександр, Пилипака Тарас, Білотіл Микола

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

У сучасних умовах інтенсивної експлуатації транспортних засобів в аграрній, промисловій та логістичній сферах питання ефективного управління технічним станом автопарку набуває особливої актуальності. Постійне збільшення кількості транспортних одиниць, необхідність дотримання регламентів технічного обслуговування, зменшення простоїв через несправності та забезпечення безпеки руху вимагають системного підходу до обліку й планування технічного обслуговування (ТО). У зв'язку з цим доцільним є впровадження автоматизованої системи обліку технічного обслуговування автопарку, яка дозволяє підвищити точність планування, забезпечити своєчасне ТО, знизити експлуатаційні витрати та підвищити надійність функціонування транспортних засобів.

Метою дослідження є створення математично обґрунтованої та програмно реалізованої автоматизованої системи для управління обліком ТО автопарку з урахуванням технічного стану, пробігу, графіка експлуатації та типових несправностей. Для реалізації мети необхідно було розробити структурну модель системи, визначити основні параметри обліку та побудувати алгоритм її функціонування [1; 2; 3].

Методика розв'язку задачі передбачає декілька етапів. На першому етапі здійснюється аналіз об'єкта автоматизації – функціонування автопарку підприємства. Визначаються основні технічні характеристики транспортних засобів: тип, модель, дата введення в експлуатацію, технічні характеристики, середній добовий пробіг, регламент ТО згідно з технічною документацією. Дані параметри становлять базу для формування інформаційного блоку системи [4; 5].

На другому етапі моделюється структура системи у вигляді багаторівневої автоматизованої інформаційної бази. Основними функціональними модулями виступають: модуль реєстрації транспортних засобів, модуль обліку пробігу, модуль планування ТО, модуль обліку витрат на ТО, модуль генерації звітності та модуль оповіщення про необхідність ТО. У кожному модулі закладені формули для обчислення технічного інтервалу обслуговування. Наприклад, визначення дати наступного ТО здійснюється за формулою:

$$T_n = T_0 + (L_n / \bar{V}),$$

де T_n – дата планового ТО, T_0 – дата останнього ТО, L_n – нормативний пробіг до наступного ТО, $\bar{V}$ – середній добовий пробіг.

На третьому етапі реалізується обчислювальний алгоритм. Кожен запис про ТО супроводжується зчитуванням актуального пробігу (через CAN-шину або введенням вручну), після чого система автоматично коригує дату наступного ТО. У випадку наближення до граничного значення (наприклад, 90% нормативного пробігу або терміну), система надсилає оповіщення відповідальним особам. Для інтеграції з реальною експлуатацією можливе підключення телематичних систем, що передають фактичні дані про місцезнаходження, навантаження та інші параметри, які впливають на знос.

Експериментальна перевірка системи була здійснена на базі автопарку умовного сільськогосподарського підприємства з чисельністю 50 одиниць техніки. За період в 6 місяців експлуатації автоматизованої системи відзначено зниження кількості позапланових ремонтів на 27%, скорочення витрат на техобслуговування на 14% завдяки ранній діагностиці зношення та поліпшенню логістики обслуговування, а також підвищення точності звітності до 98%. Зниження простоїв техніки в польовий період сприяло більш ефективному виконанню агротехнічних заходів і зменшенню втрат продуктивності.

Система також дає змогу формувати індивідуальні графіки обслуговування для кожної одиниці техніки, враховуючи її режим експлуатації та історію несправностей. У перспективі можливе доповнення системи модулями оцінки технічного стану на основі аналізу вібраційних сигналів, акустичних даних або термографії, що дозволить реалізувати концепцію Predictive Maintenance (прогнозованого технічного обслуговування).

У практиці аграрних підприємств впровадження автоматизованої системи обліку технічного обслуговування вже показало свою ефективність. Один із прикладів – агрофірма з центрального регіону України, яка має в експлуатації понад 70 одиниць техніки, включаючи трактори, комбайни, сівалки та вантажні автомобілі. До впровадження системи облік ТО здійснювався вручну – у вигляді журналів, що часто призводило до пропуску регламентних обслуговувань, позапланових поломок і простоїв техніки у відповідальні періоди посівної та жнив.

Після впровадження автоматизованої системи, розробленої на базі платформи 1С або вебсервісу з інтеграцією GPS-моніторингу, було зафіксовано скорочення кількості відмов техніки на 32% за перший рік, а витрати на аварійні ремонти зменшилися на 19%. Система дозволила автоматично формувати щомісячні графіки обслуговування, контролювати запаси витратних матеріалів та попереджати відповідальних працівників за 5 днів до наступного ТО.

Таким чином, розроблена автоматизована система обліку технічного обслуговування автопарку дозволяє підвищити ефективність управління технічною експлуатацією транспортних засобів, забезпечити своєчасне ТО, зменшити витрати та знизити ризик аварійних ситуацій. Її впровадження особливо доцільне в умовах агропромислового комплексу, де ефективне використання техніки є критичним чинником успішності виробничого процесу.

Література

1. Ensuring the efficiency of the system of technical maintenance and repair of transport and technological machines / Holotiuk M. V., Shymko A. V., Shovkomys O. V., Martyniuk V. L. *The Archives of Automotive Engineering – Archiwum Motoryzacji*. 2023. Vol. 99, No. 1. Pp. 5–17.
2. Петров І. О. Використання датчиків у системах моніторингу технічного стану сільськогосподарської техніки. *Технічний сервіс у агропромисловому виробництві*. 2020. № 4. С. 12–17.
3. Коваленко С. В. Алгоритми прогнозування технічного обслуговування з урахуванням експлуатаційних умов. *Агроінженерія: теорія і практика*. 2019. № 2. Т. 18. С. 25–31.
4. Бойко О. М. Оптимізація ремонтних процесів у сільськогосподарському секторі: автоматизація та прогнозування. *Сільськогосподарська техніка і обладнання*. 2020. № 7. С. 28–34.
5. Кравчук О. Л., Сидоренко В. М. Програмне забезпечення для управління технічним обслуговуванням у великих господарствах. *Техніка і технології АПК*. 2020. № 3. Т. 12. С. 22–29.

УДК 631.356

ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ

REGARDING THE MODELING OF RISKS IN LOGISTICS PROCESSES AND SYSTEMS

Хітров Ігор

*Національний університет водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028*

Транспортна логістика – це комплексна система планування, організації, управління і контролю за переміщенням вантажів та пасажирів від місця відправлення до місця призначення [1]. Така система досить гнучка і дозволяє здійснити оптимізацію маршрутів та засобів перевезення: (забезпечення ефективного використання транспортних засобів, мінімізація часу та витрат на перевезення), координацію між різними видами транспорту (наприклад, організацію мультимодальних перевезень, коли вантаж спочатку транспортується одним видом транспорту, а потім переключається на інший залізничний, автомобільний або морський), контроль за логістичними потоками (супровід вантажів від виробника до кінцевого споживача з використанням інформаційних систем для моніторингу переміщення), управління ризиками (оцінка та мінімізація можливих затримок, збитків або втрат, пов'язаних із транспортними процесами).

Основним методом дослідження логістичних систем є побудова їх моделей, що ґрунтується на принципі аналогії між різними процесами та системами. Такий підхід дозволяє створювати спрощені, але адекватні відображення реальних логістичних процесів для подальшого аналізу та прогнозування.

Логістичною моделлю називають будь-який абстрактний або матеріальний образ логістичного процесу чи системи, який застосовується як їх заміник [2]. Це можуть бути як математичні чи комп'ютерні моделі, так і фізичні макети, що дозволяють дослідникам отримати повне уявлення про роботу системи, її структуру та функціональні зв'язки.

Основна мета моделювання в логістиці полягає в прогнозуванні поведінки системи за різних умов та сценаріїв. Ключове питання, яке ставиться під час моделювання, звучить як «Що буде, якщо?». Відповідаючи на нього, експерти оцінюють вплив потенційних змін у зовнішньому чи внутрішньому середовищі, що сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень та підвищенню ефективності логістичних процесів [3].

Врахування невизначеності та ризиків у логістичних моделях вимагає детального підходу, який дозволяє адаптувати аналіз до реальних умов роботи системи. Спочатку необхідно виявити, які фактори можуть впливати на логістичні процеси. Це можуть бути зовнішні фактори (наприклад, зміни в економічній ситуації, погодні умови, політичні ризики) або внутрішні (несподівані перебої у виробництві, проблеми з персоналом, технічні збої).

На основі отриманих даних проводиться аналіз для оцінки ступеня коливань ключових показників. Використання методів статистики дозволяє визначити ймовірні діапазони змін та побудувати ймовірнісні розподіли для різних параметрів.

Для моделювання невизначеності застосовуються стохастичні методи, такі як моделювання Монте-Карло або випадкові процеси [2; 4]. Ці підходи дозволяють проводити численні симуляції, що імітують різні сценарії розвитку подій, і таким чином оцінити можливий вплив випадкових подій на систему.

Завдяки включенню параметрів невизначеності, моделі можуть аналізувати різні сценарії. Наприклад, змінюючи значення вхідних параметрів в межах їх можливих коливань,

можна оцінити, як ці зміни вплинуть на загальну ефективність системи. Це дозволяє розробити стратегічні плани для мінімізації ризиків.

Окрім прогнозування, моделі повинні допомагати визначити критичні точки, де навіть незначні відхилення можуть спричинити великі наслідки. Це дозволяє заздалегідь розробити заходи для зниження впливу потенційних негативних подій (резервні плани, страхування, розподіл ресурсів).

Система повинна бути здатна адаптуватися до нових даних. Регулярне оновлення параметрів моделі на основі свіжої інформації допомагає підтримувати її актуальність та точність прогнозів.

Найчастіше моделі використовують алгоритми оптимізації (наприклад, методи лінійного та цілочислового програмування) для пошуку найкращих варіантів розподілу ресурсів, оптимальних маршрутів перевезення та розкладів операцій. Завдяки цьому можна врахувати численні обмеження, як-то пропускна здатність складів, наявність транспортних засобів або бюджетні обмеження, що дозволяє мінімізувати витрати та скоротити час виконання операцій.

За допомогою динамічних моделей враховуються часові зміни параметрів системи. Це дозволяє адаптувати управлінські рішення до змін попиту, сезонних коливань або інших змінних факторів, що впливають на логістичні процеси. Такий підхід сприяє більш гнучкому реагуванню на зміни в реальному часі.

Використання цифрових двійників або симуляційних платформ дає можливість створювати віртуальні копії логістичних процесів. Це дозволяє випробувати різні сценарії «що буде, якщо», без ризику для реальної системи. Симуляції допомагають ідентифікувати потенційні вузькі місця та оцінити наслідки різноманітних рішень до їх впровадження.

Застосування аналізу чутливості дозволяє визначити, які параметри найбільше впливають на ефективність системи. Розуміння цього дає змогу керівникам робити обґрунтовані коригування в управлінні, спрямовані на зниження витрат і оптимізацію процесів.

Використання сучасних комп'ютерних інструментів та програмного забезпечення дозволяє автоматизувати процес аналізу невизначеності. Це сприяє швидкому опрацюванню великих обсягів даних і забезпечує можливість реального часу реагувати на зміни.

Моделі логістичних систем повинні бути інструментом не лише для пасивного опису поточного стану, але й для активної підтримки прийняття рішень, спрямованих на оптимізацію роботи системи.

Таким чином, транспортна логістика є ключовою складовою загальної логістичної системи підприємства або держави, оскільки від неї залежить своєчасність поставок, ефективність виробничих процесів та загальна конкурентоспроможність на ринку. Включення параметрів невизначеності та аналіз сценаріїв «що буде, якщо» дозволяє не лише краще зрозуміти потенційні ризики, а й забезпечити гнучкість і стійкість логістичної системи до зовнішніх і внутрішніх впливів. Моделі повинні не лише описувати поточний стан системи, але й допомагати знаходити оптимальні рішення для підвищення ефективності, мінімізації витрат і зменшення часу виконання операцій.

Література

1. Кальченко А. Г. Логістика : навч. посіб. Київ : КНЕУ, 2003. 248 с
2. Coyle J., Bardi E., Langley C. Zarzadzanie logistyczne. Warszawa : PWE, 2002. 734 s.
3. Бержанір А. Л., Рибчак В. І., Слободяник Н. П. Логістика : навч. посіб. Умань : Уманське видавничо-поліграфічне підприємство, 2009. 348 с.
4. Тараненко Ю., Федоренко І. Імітаційне моделювання логістичних процесів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка*. 2016. Вип. 8(185). С. 38–44.

ЗМІСТ

НАУКОВА СЕКЦІЯ 1 АГРАРНІ НАУКИ ТА ПРОДОВОЛЬСТВО

Бабій Андрій, Бойко Віталій, Головецький Іван	РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ КАРТОПЛЯНОГО ВОРОХУ В КАРТОПЛЕКОПАЧАХ	4
Бабій Андрій, Вовк Іван, Гладько Юрій	БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ РОТАЦІЙНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН	6
Білоус Ілля	КЛАСИФІКАЦІЯ ДИСКОВИХ ПОДРІБНЮВАЧІВ	8
Богословський Матфій, Копчик Ігор	ОСТЕОСАРКОМА (РАК КІСТОК) У СОБАК.	11
Бундза Олег, Тимчук Богдан, Кулеша Віталій	УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАШИНОЮ ДЛЯ БОРОТЬБИ З ВИСОКОРОСЛИМИ БУР'ЯНАМИ	13
Валецька Оксана, Маринюк Володимир, Коваль Ілона	АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ ТРАКТОРІВ У РОСЛИННИЦТВІ	16
Valetska Oksana, Franko Uwe, Meurer Katharina H. E.	MODELLING THE IMPACT OF BIO-BASED FERTILIZERS ON THE CARBON AND NITROGEN CYCLE IN THE SOIL	18
Гапанович Софія, Атаманюк Ірина	ВАРООЗ БДЖІЛ: АКТУАЛЬНІСТЬ ПРОБЛЕМИ ТА СУЧАСНІ МЕТОДИ БОРОТЬБИ.	21
Голотюк Микола, Шуманський Андрій, Троцюк Андрій	АНАЛІЗ ПІДВІСНИХ СИСТЕМ ГУСЕНИЧНИХ РУШІЇВ З МЕТОЮ ЗНИЖЕННЯ ВІБРАЦІЙ	23
Журавель Дмитро	ОБҐРУНТУВАННЯ МЕХАТРОННОЇ СИСТЕМИ ГІДРООБ'ЄМНОГО РУЛЬОВОГО КЕРУВАННЯ КОЛІСНИХ ТРАКТОРІВ	25
Ісічук Олег, Андрієвич Юрій, Шимко Андрій	ТЯГОВИЙ ОПІР СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН: ФАКТОРИ ВПЛИВУ ТА ШЛЯХИ ЙОГО ЗНИЖЕННЯ	28
Коваль Ілона, Налобіна Олена	ОГЛЯД ГАЛУЗЕЙ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНІЧНИХ КОНОПЕЛЬ	30
Куликівський Володимир, Боровський Віктор	ВИКОРИСТАННЯ ЛАНЦЮГОВИХ ПЕРЕДАЧ В СУЧАСНИХ ПРИВОДАХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ	32

Мерленко Ігор, Довганюк-Семенюк Марія, Мерленко Ніна	РОЗРОБКА ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОЩУВАННЯ КАРТОПЛІ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ	35
Мороз Сергій, Васильковський Олексій	ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ТЕХНОЛОГІЇ ТА МАШИНИ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР	39
Налобіна Олена, Михайлов Артем	СУЧАСНИЙ СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ РИНКУ РОБОТОТЕХНІКИ ДЛЯ ПОТРЕБ АПК	43
Номирівська Анастасія, Налобіна Олена	ЛЬОНАРСЬКА ГАЛУЗЬ В УКРАЇНІ. ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ	48
Олексієнко Дмитро, Кобан Євгеній, Васильковський Олексій	ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПОТУЖНОСТІ МОДЕРНІЗОВАНОЇ ЗЕРНООЧИСНОЇ МАШИНИ МЗПІ-10 ТА КОНКУРЕНТНИХ АНАЛОГІВ	50
Остапенко Валерій, Кажуро Максим	ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МАШИН ДЛЯ ТОЧНОГО ВНЕСЕННЯ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ	53
Пилипака Тарас, Шуманський Андрій, Ходаківський Іван	РОЗРОБКА СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ СТАНУ ПОСІВІВ НА ОСНОВІ СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ ТА ДРОНІВ	55
Фурманець Мирослава, Маркарян Володимир, Ященко Людмила	ДИНАМІКА ЩІЛЬНОСТІ СКЛАДЕННЯ ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ ОБРОБІТКУ ТЕМНО-СІРОГО ҐРУНТУ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПОБІЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ КУЛЬТУР СІВОЗМІНИ	57
Хомич Сергій, Цизь Ігор	ЕЛЕМЕНТИ РОЗРАХУНКУ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ЗАБІРНОГО ПРИСТРОЮ	60
Ювчик Надія, Литвиненко Вадим	БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ЗА ВИРОЩУВАННЯ ПШЕНИЦІ ОЗИМОЇ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ	63

НАУКОВА СЕКЦІЯ 2 ГАЛУЗЕВЕ МАШИНОБУДУВАННЯ

Алієв Ельчин, Головченко Валентин	РЕЗУЛЬТАТИ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПЛОДІВ І НАСІННЯ РИЦІНИ	66
Борак Костянтин, Рябчук Олександр, Рябчук Павло	МЕХАНІЗМ АБРАЗИВНОГО ЗНОШУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ҐРУНТООБРОБНИХ МАШИН	71

Герасимчук Олександр, Охремов Андрій	КОНСТРУКЦІЯ МАШИНИ ДЛЯ М'ЯТТЯ ХВОЇ З ГІДРАВЛІЧНИМ ПРИТИСКАННЯМ	78
Голотюк Микола, Маринюк Володимир, Шевчук Тарас	ОЦІНКА НАВАНТАЖЕНЬ НА ГУСЕНИЦЮ ПРИ РОБОТІ НА НЕРІВНІЙ ПОВЕРХНІ	81
Горрі Себастьян, Цимбал Богдан	ІННОВАЦІЙНЕ АГРОЕКОЛОГІЧНЕ РІШЕННЯ: РОБОТ ДЛЯ ПРОПОЛЮВАННЯ ЦИКЛЕР	83
Грабар Іван, Ковальчук Максим, Вензовська Наталія	ЗАСТОСУВАННЯ 3-D МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ УДОСКОНАЛЕНІ ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН	86
Грубань Василь, Храмов Микита	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ПІДРІЗАННЯ ТА ПІДЙОМУ ҐРУНТУ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ҐРУНТООБРОБНОЇ УСТАНОВКИ	88
Коваль Андрій, Кафтанов Антон	РОБОЧИЙ ОРГАН ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ ПЕРЕДНЬОГО КРАЮ	92
Койфман Олексій, Ісаєв Андрій, Голотюк Микола	ВПЛИВ ТРИВАЛОСТІ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРУ В КІНЦІ КРИВОЇ РОЗГОНУ НА ЯКІСТЬ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ	96
Левківський Сергій, Ніколаєнко Володимир	ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ПЛАНЕТАРНИХ ЗУБЧАСТИХ ПЕРЕДАЧ В ПРИВОДІ ХОДУ ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНИХ МАШИН	99
Мартинюк Віктор, Морозюк Богдан	ВИБІР ПРОТОТИПУ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ ВИСОКОЇ ПРОХІДНОСТІ	103
Марчук Роман, Марчук Назар, Кирилюк Назар	ДО ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ПАЛЬЦЯ ГУСЕНИЧНОГО ШАРНІРА В РЕЖИМІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	105
Мусійко Володимир, Коваль Андрій, Пасенко Юрій	БЕЗКІВШЕВИЙ РОТОРНИЙ РОБОЧИЙ ОРГАН УНІВЕРСАЛЬНОЇ ЗЕМЛЕРИЙНОЇ МАШИНИ БЕЗПЕРЕРВНОЇ ДІЇ	107
Паламарчук Дмитро	ПОБУДОВА МОДЕЛІ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ СТЕРЖНЕВОЇ СТІЛОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ	109
Паламарчук Дмитро, Назаренко Михайло, Панфілов Владислав	СИНТЕЗ КОРЧУВАЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ З ДИНАМІЧНИМ АКТИВАТОРОМ	112
Пахаренко Володимир, Маринюк Володимир, Ящук Олександр	МЕТОДИ ПРОДОВЖЕННЯ РЕСУРСУ АВТОТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ В УМОВАХ ІНТЕНСИВНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ	114

Пуць Віталій, Жук Валентин	ДО ПИТАННЯ СТІЙКОСТІ КОЛІСНИХ НАВАНТАЖУВАЧІВ	116
Ріпа Сергій, Бабин Ігор, Луц Павло	ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ЗМІШУВАННЯ ЖИВИЛЬНИХ РОЗЧИНІВ ДЛЯ ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВ	119
Руткевич Володимир	ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДА НОЖЕВОГО МЕХАНІЗМУ БЛОЧНО-ПОРЦІЙНОГО ВИВАНТАЖУВАЧА	122
Рябчиков Микола, Мартинюк Віктор, Мельник Дмитро	ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАСЛІНОК ДОЗАТОРІВ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗМІРІВ ТА ГРАНУЛОМЕТРИЧНОГО СКЛАДУ	125
Рябчиков Микола, Пуць Віталій, Головій Аркадій	ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ РЕЖИМИ РОБОТИ ДОЗАТОРІВ РІДКОЇ ПРОДУКЦІЇ	128
Савченко Василь, Прищепа Володимир, Рябчук Павло	ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ЕЛЕКТРОЛІТИЧНОГО ХРОМУВАННЯ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ	131
Серілко Леонід, Морозюк Сергій, Серілко Дмитро	ІНЕРЦІЙНИЙ КОНВЕЄР ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ТІЛ ЦИЛІНДРИЧНОЇ ФОРМИ	133
Сімаков Олег, Копчук Ігор	ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ З НИЗЬКИМ КОЕФІЦІЄНТОМ ТЕРТЯ ЯК МЕТОД ОПТИМІЗАЦІЇ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ФРАКЦІОНЕРА ЛИСТОСТЕБЛОВОЇ МАСИ	136
Сиротинський Олександр, Серілко Дмитро, Онищук Володимир	ПРИСТРІЙ ДЛЯ ГІДРОДИНАМІЧНОГО РОЗПУШЕННЯ ТА ВИЛУЧЕННЯ МУЛУ В КОЛОДЯЗЯХ ТА ВІДСТІЙНИКАХ НА БАЗІ МАШИНИ МОК-10	139
Стадник Олександр, Морозюк Сергій, Кучерук Мирослава	ДІАГНОСТИКА ТЕХНІЧНОГО СТАНУ ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ ЗА ХІМІЧНИМ СКЛАДОМ ВІДПРАЦЬОВАНОЇ МОТОРНОЇ ОЛИВИ	142
Степанюк Богдан, Лук'янчук Олександр	ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВРАХУВАННЯ ШВИДКОСТІ РІЗАННЯ В МЕТОДИЦІ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ І ТЯГОВОГО ОПОРУ ДВОЯРУСНИХ РОЗПУШУВАЧІВ ҐРУНТУ, ЩО ПРАЦЮЮТЬ НА КРИТИЧНІЙ ГЛИБИНІ РІЗАННЯ	145

Шаргородський Сергій, Кондратюк Дмитро	ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГІДРАВЛІЧНОМУ ПРИВОДІ РОЗКЛАДАННЯ ШИРОКОЗАХВАТНОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО АГРЕГАТУ	149
Шимчук Сергій, Мартинюк Віктор, Зайчук Наталія	РЕЦИКЛІНГОВІ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИ ОТРИМАННІ ТВЕРДИХ ПАЛИВ З ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА	151
Шимчук Сергій, Пуць Віталій, Зайчук Наталія	КОНЦЕПЦІЯ БЕЗВІДХОДНОГО ДЕРЕВООБРОБНОГО ВИРОБНИЦТВА	153
НАУКОВА СЕКЦІЯ З ВИРОБНИЦТВО ТА ТЕХНОЛОГІЇ		
Ващіліна Олена, Голотюк Вікторія, Голотюк Микола	ЗАСТОСУВАННЯ АРХІТЕКТУРНОГО ПАТЕРНУ MVVM У ПРОЦЕСІ РОЗРОБКИ МОДЕРНИХ МОБІЛЬНИХ ЗАСТОСУНКІВ	156
Добранський Сергій, Бучко Ігор	АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ РОБОТИЗОВАНИХ ЗАСОБІВ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ УКРАЇНИ ТА СВІТІ	160
Кучерук Мирослава	ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ТА ЕФЕКТИВНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВИРОБЛЕНИХ ТОРФОВИХ ПЛОЩ	166
Карпенко Андрій, Налобіна Олена	АНАЛІЗ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ВИРОБІВ	169
Пікула Микола	ЗНОШЕННЯ ГРАНУЛЬОВАНОГО АБРАЗИВНОГО СЕРЕДОВИЩА ПРИ ВІБРАЦІЙНІЙ ОБРОБЦІ	171
Похильчук Ігор, Стрілець Олег	ВИКОРИСТАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПРИ ВИВЧЕННІ ДИСЦИПЛІН «ТЕОРІЯ МЕХАНІЗМІВ І МАШИН» ТА «ДЕТАЛІ МАШИН»	174
Тимошук Олександр, Козяр Микола	ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО КОНТРОЛЮ МЕТАЛОКОНСТРУКЦІЙ СКЛАДНОЇ ФОРМИ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕТОДІВ НАРИСНОЇ ГЕОМЕТРІЇ	177
Юскович Артем, Похильчук Ігор	ЗАСТОСУВАННЯ АДИТИВНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРИ ВИВЧЕНІ СИНТЕЗУ ВАЖЛИВИХ МЕХАНІЗМІВ	179

НАУКОВА СЕКЦІЯ 4
РОЗУМНИЙ ТРАНСПОРТ ТА ЛОГІСТИКА

Бережняк Іванна, Сорока Валерій, Дорошук Вікторія, Сліпенький Євгеній	ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ МІЖНАРОДНИХ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ	182
Горбачова Яна, Сампір Олександр	РЕКОМЕНДАЦІЇ ПО ПІДВИЩЕННЮ ЕФЕКТИВНОСТІ ЛОГІСТИЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ (В ЧАСТИНІ ПЛАНУВАННЯ ЗАХОДІВ)	184
Загурський Олег, Загурська Світлана	ЦИФРОВА МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОЮ ДІЯЛЬНІСТЮ	186
Никончук Вікторія	ТЕХНОЛОГІЧНА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЛОГІСТИКИ У СФЕРІ ТРАНСПОРТУ	189
Рижий Олександр, Пилипака Тарас, Білотіл Микола	РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ОБЛІКУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ АВТОПАРКУ	192
Хітров Ігор	ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РИЗИКІВ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ І СИСТЕМ	194

Наукове видання

**Міжнародна науково-практична конференція
«ІННОВАЦІЇ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ,
МАШИНОБУДУВАННІ ТА ТРАНСПОРТІ»**

ЗБІРНИК ТЕЗ

Розміщуються статті в авторській редакції

Провідний редактор Галина Сімчук

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до
державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*