

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Обґрунтування параметрів та конструкції ґрунтообробного агрегату для виконання операції подрібнення рослинних решток»

Виконав:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

Науковий керівник:

_____ (підпис)

_____ (Прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу
Ступінь вищої освіти «Магістр»
Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
агроінжинірингу

_____ Шуляк М.Л.

“__” _____ 202_ року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Обґрунтування параметрів та конструкції ґрунтообробного агрегату для виконання операції подрібнення рослинних решток _____ ,

керівник роботи: Мікуліна Марина Олександрівна, к.е.н., доцент _____ ,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “__” _____ 202_ року
№ _____

2. **Строк подання здобувачем роботи:** “__” _____ 202_ року.

3. **Вихідні дані до роботи:** методичні матеріали, нормативні документи, наукові статті та монографії вітчизняних та зарубіжних дослідників _____ .

4. **Зміст пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити):

5. **Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:** _____

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці			
Економічна частина			

7. Дата видачі завдання: “ ___ ” _____ 202_ року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником кваліфікаційної (магістерської) роботи
1.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики та написання вступу		
2.	Підготовка розділу «Розділ 1»		
3.	Підготовка розділу «Розділ 2»		
4.	Підготовка розділу «Розділ 3»		
5.	Підготовка розділу «Розділ 4»		
6.	Підготовка розділу «Розділ 5» та написання висновків		
7.	Подання роботи на перевірку унікальності		
8.	Подання роботи до експертної ради факультету		
9.	Подання роботи на рецензування		
10.	Подання до попереднього захисту		

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної (магістерської) роботи

_____ (підпис)

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційного проекту на 48 с машинописного тексту, 27 рис., 5 табл., 20 літературних джерел, __ додаток(ки).

КАТОК-ПОДРІБНЮВАЧ; РОСЛИННІ РЕШТКИ; ВІБРАЦІЙНА ДІЯ;
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ; ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ;
ГРУНТООБРОБНИЙ АГРЕГАТ; РАЦІОНАЛЬНІ ПАРАМЕТРИ; ОХОРОНА
ПРАЦІ; ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

Об'єктом дослідження є ґрунтообробний агрегат для подрібнення рослинних решток.

Предметом дослідження є вдосконалення конструкції катка-подрібнювача для підвищення ефективності роботи на різних типах ґрунтів.

В результаті дослідження розроблено модернізовану конструкцію ґрунтообробного агрегату з удосконаленими параметрами, зокрема ексцентриситетом та шириною планок. Проведено математичне моделювання взаємодії робочих органів агрегату з ґрунтовим середовищем. Експериментальні дослідження підтвердили адекватність розробленої моделі та підвищення ефективності агрегату.

Наведено: Схема виконаних досліджень по розробці конструкції катка-подрібнювача; Дослідний зразок катка-подрібнювача ДП «Гуляйпільський механічний завод ПАТ «Мотор-Січ»»; Розрахункова схема катка; Графічна інтерпретація рівняння регресії; Тяговий опір катків експериментальної і серійної машин; Робота агрегату в польових умовах; Техніко-економічна ефективність пропонованого технологічного рішення.

Розробка може значно підвищити ефективність обробки ґрунту, знизити витрати палива та праці, а також покращити ступінь подрібнення рослинних решток, що сприятиме ширшому впровадженню технологій мінімального та органічного землеробства.

Розроблені заходи з охорони праці.

Проведено аналіз економічної доцільності.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	6
1.1 Огляд конструкцій	6
1.2 Огляд аналітичних досліджень	13
1.3 Діскові агрегати для подрібнення рослинних решток	17
РОЗДІЛ 2. ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ	20
2.1 Загальні принципи розробки конструкції	20
2.2 Аналітичні дослідження	22
2.3 Тяговий опір катка	24
2.4 Кінематичні параметри катка	25
2.5 Прогнозована ступінь подрібнення рослинних решток	26
РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
3.1 Програма і методика експериментальних досліджень	28
3.2 Загальні результати досліджень	29
3.3 Подрібнення рослинних решток	30
3.4 Кришення ґрунту	32
3.5 Дослідження тягового опору	32
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	36
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	39
ВИСНОВКИ	43
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	45
ДОДАТКИ	48

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку сільського господарства України важливим аспектом є раціональне використання ґрунтових ресурсів та підвищення ефективності агротехнічних заходів. Однією з ключових проблем є необхідність обробки великих обсягів рослинних решток після збору врожаю. Недостатнє подрібнення цих решток може призвести до негативних наслідків для родючості ґрунту та збільшення витрат на подальшу обробку земельних ділянок. Крім того, неякісне подрібнення залишків культур може сприяти поширенню хвороб та шкідників, що знижує продуктивність вирощування наступних сільськогосподарських культур.

Актуальність обґрунтування параметрів та конструкції ґрунтообробного агрегату для виконання операції подрібнення рослинних решток обумовлена необхідністю підвищення ефективності роботи аграрного сектору в умовах інтенсифікації виробничих процесів. В Україні, де сільське господарство є однією з основних галузей економіки, проблема якісної обробки ґрунту набуває особливого значення через зміну кліматичних умов, зростання вимог до екологічної стійкості та збереження ґрунтового покриву. Використання сучасних ґрунтообробних агрегатів дозволяє не лише ефективно подрібнювати рослинні залишки, але й сприяє зменшенню ерозії ґрунтів, покращенню водо- та повітропроникності та підвищенню врожайності.

Дослідження параметрів та режимів роботи таких агрегатів, а також обґрунтування їх конструкцій, є важливим завданням для вдосконалення технологічних процесів в аграрній галузі. Оптимізація цих параметрів дозволяє мінімізувати витрати на експлуатацію сільськогосподарської техніки, зменшити паливні витрати та забезпечити довготривале збереження родючості ґрунтів. Саме тому тема роботи є актуальною та вимагає детального наукового обґрунтування для досягнення максимальної ефективності використання ґрунтообробної техніки в умовах сучасного аграрного виробництва.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

1.1 Огляд конструкцій

Ефективність сучасного роликового подрібнювача не підлягає сумнівам. Його основна функція полягає в подрібненні залишків рослинної речовини, які потім змішує із ґрунтом для створення шару мульчі. Усі різновиди цієї машини мають загальну конструкцію: барабан, що спирається на підшипники, із закріпленими по його периферії ножовими пластинами. Діаметр барабана визначає, чи підходить коток для обробки грубоствольних або трав'янистих культур. Ріжуча дія роликових ножів здійснюється за рахунок подрібнювального механізму, який вимагає попереднього розміщення зеленої маси на полі. Як правило, леза цих роликових ножів прямі, оскільки конструкція не дозволяє різати через ковзний механізм.

Провівши аналіз літературних джерел і рекламних матеріалів різних компаній-виробників, було визначено кілька конструктивних рішень. Одним з аспектів, на який слід звернути увагу, є здатність валиків виконувати як розрізання, так і зминання, причому перше є більш поширеним. Серед простіших рішень варто відзначити КЗК-6 (зображено на рисунку 1.1).



Рисунок 1.1 – Каток подрібнювач КЗК-6.

Агрегат складається з компактного цілісного вала з радіально розташованими ножами. Слід зазначити, що на відміну від інших машин, барабан тут відсутній. Машина оснащена трьома такими валами, кожен з яких має довжину 2 метри. На супровідному малюнку показано положення машини під час транспортування.

Сучасна ітерація розглянутого дизайну характеризується тим, що зазвичай називають «ламаною» конфігурацією, як показано на малюнку 1.2.



Рисунок 1.2 - Каток-подрібнювач Demetra

Унікальна особливість цієї конструкції полягає в тому, що ножі кріпляться на усічених валах, зміщених один відносно одного. Це особливе розташування служить для розсіювання сил, які виникають під час роботи, що призводить до послаблення загального динамічного режиму.

Існує також альтернативна форма машин (див. рис. 1.3), яка використовує аналогічні робочі механізми для зрізання рослинності та змішування її з землею.



Рисунок 1.3 – Барабан катка, оснащений ножами шевронного профілю

Однак одним із недоліків конструкції є міцність пластин, які повністю покривають барабан.



Рисунок 1.4 – Каток-подрібнювач КМ-6 «Степ»

Жодна з перерахованих конструкцій не підходить для процесу роздавлювання грудей. У результаті для цього конкретного завдання було розроблено окрему агромашину. У цьому механізмі використовуються зубчасті планки з шевронним профілем, як показано на малюнку 1.5.



Рисунок 1.5 – Коток грудкороздавлювач Vomet-2,5

Ролик, про який йде мова, має важливу особливість, оскільки його планки не є гнучкими, а натомість демонструють коливальну траєкторію під час роботи.

Цей конкретний тип ролика зазвичай називають струнним роликом. Незважаючи на те, що динамічний рух пластин корисний для процесу різання, він негативно впливає на надійність ролика.

Запропонована конструкція катка служить для подрібнення значних грудок ґрунту з одночасним подрібненням решток крупностебельних культур. Його енергоспоживання відносно високе, що обмежує його широке використання.

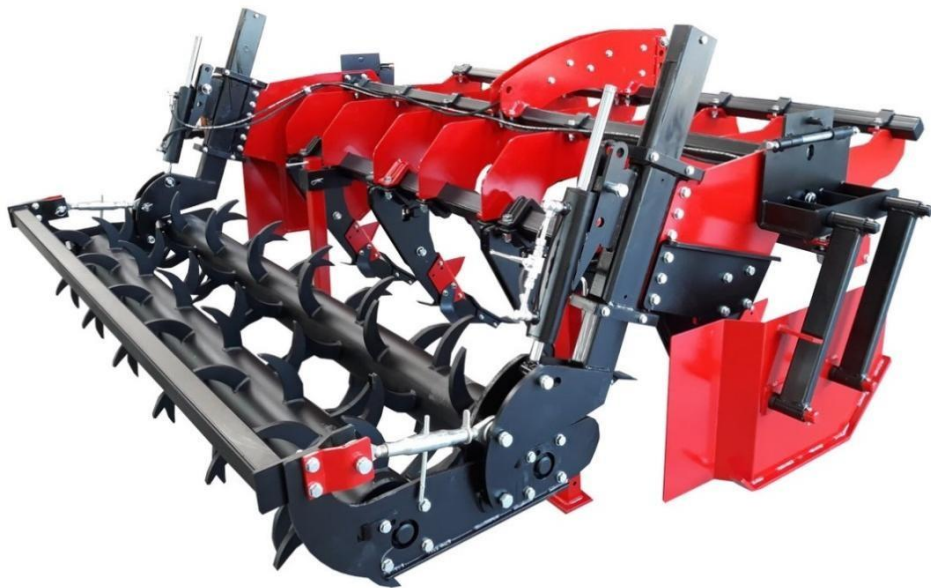


Рисунок 1.6 – Шпоровий каток

Аналітичне обґрунтування профілю ножа надав Л.Ф.Бабицький [2]. В основі даної конструкції лежить техніка різання з ковзанням, що забезпечує високу ефективність її роботи в умовах смугового укладання рослинних решток.

Ця група агромашин має ребристу структуру та, завдяки своїй збільшеній масі, ефективно перемелює грудки та рослинний матеріал (малюнок 1.7).



Рисунок 1.7 – Ребристий каток переминаючої дії

Цей конкретний принцип конструкції (як показано на рис. 1.8) був використаний при будівництві агромашини саморобного виробництва. Його спрощений характер заслуговує на увагу, оскільки його можна легко побудувати в умовах сільської майстерні. Примітно, що ребра цієї конструкції зливаються, утворюючи згущений V-подібний профіль поверхні. Цей профіль має значний потенціал для пом'якшення ерозії ґрунту.



Рисунок 1.8 – Саморобний каток переминаючої дії

У сфері конструктивних рішень використовується унікальний підхід, в якому профіль робочого органу формується на основі методології біоніки.

Зокрема, лапа зі стрілою демонструє посилений потік у поздовжньо-вертикальній площині, тим самим полегшуючи вилучення кореня рослини системи до поверхні ґрунту. Згодом ці коренеплоди подрібнюються дисковим катком. Слід зазначити, що відстань між дисками навмисно вибрано для забезпечення оптимального подрібнення до 50 мм, що підтверджується літературними джерелами як ідеальна товщина для шару мульчі.

Дослідниками була розроблена ще одну ітерацію розробки, яка виявилася ефективною, її показано на малюнку 1.9. Головне нововведення – ексцентричний первинний вал, який під час роботи здійснює коливальну траєкторію з амплітудою 5 мм. Як свідчать попередні дослідження [8], цей коливальний рух має помітний вплив на якість фрагментації ґрунту та рослинних залишків.



Рисунок 1.9 – Дослідний зразок барабана з ексцентриковим валом

У поточній конфігурації вкрай важливо запобігти поширенню вібрації на трактор. Ця мета досягається за рахунок збільшення маси рами машини.

Проблему обробки залишків рослин на невеликих ділянках можна вирішити за допомогою чергування шарів під час перекопування. Досить детально кінематика процесу розглянута в [18]. У садівництві зі значною кількістю дерев боротьба з опалим листям становить серйозну проблему, оскільки спалювати або згрібати їх не є життєздатним рішенням. Було виявлено саморобний пристрій, який механізує процес, зокрема на етапі дроблення, як описано в (рис. 1.10). Хоча конструкція нескладна, вона ефективно вирішує проблему. Вага інструменту має вирішальне значення, оскільки люди повинні працювати з ним ручним способом, одночасно докладаючи максимально можливої сили до голки під час роботи.



Рисунок 1.10 – Саморобний каток-подрібнювач для садово-паркових господарств

1.2 Огляд аналітичних досліджень

У цьому пункті наша увага буде зосереджена на попередніх дослідженнях, що проводяться вітчизняними дослідниками. Метою досліджень було

підвищення якості формування шару мульчі в окремих конструкціях за рахунок використання вібраційного впливу ножів. Цього вдалося досягти за рахунок установки барабанів на ексцентрикові опори з ексцентриситетом до 10 мм. Щоб зрозуміти аналітичну модель взаємодії органу з обробленим середовищем, необхідно розглянути траєкторію руху леза ножа згідно з кінематичною розрахунковою схемою (див. рис. 1.11). Для опису цієї траєкторії можна використати систему параметричних рівнянь [8], яку можна спростити, встановивши ексцентриситет рівним нулю за відсутності ексцентриситету в моделі.

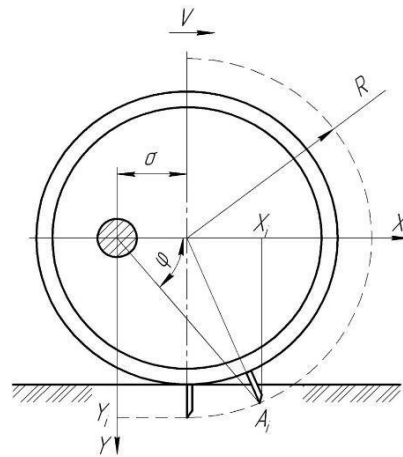


Рис.1.11 – Розрахункова схема катка

$$L=R + aT\cos\varphi$$

$$X_i=(R + aT\cos\varphi)T\cos\varphi$$

$$Y_i=(R + aT\cos\varphi)T\sin\varphi$$

Центральний кут φ можна представити добутком кутової швидкості ω на час t , таким чином, що $\varphi = \omega \cdot t$. Тут ω позначає кутову швидкість, а t — час. Крім того, поступова швидкість одиниці $V-L$ та довжина творчої траєкторії L також є ключовими компонентами у визначенні ω .

Положення ножа встановлюється таким, щоб збігатися з напрямком осі X як початковою точкою.

У точці ініціації, де $\varphi = 0$, розташування леза ножа може бути представлено приписаними координатами в прийнятій системі координат:

$$X_0 = (R + a) \quad Y_0 = 0$$

Повне обертання леза займає час:

$$T = \frac{2\pi R}{V}$$

Тривалість часу, що розділяє два послідовних положення леза:

$$t = \frac{T}{n} = \frac{2\pi R}{nV}$$

Вимірювання розділеної частини головного стовбура дерева:

$$l_1 = \omega \cdot t \cdot R$$

Логічним підходом, як показано на малюнку 1.12, є використання трилопатевого механізму. Четвертий, п'ятий і шостий ножі несуть основну відповідальність за подрібнення залишків рослинної маси на поверхні поля.

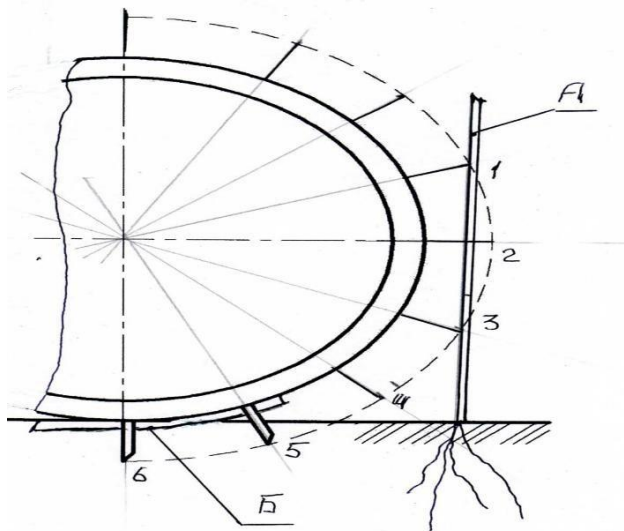


Рисунок 1.12 – Розрахункова схема до визначення кількості ножів барабану

Для виконання запропонованого плану потрібен точний кут 22,5 градуси між ножами або 16 ножів на барабані подрібнювача. Процес різання можна оптимізувати, забезпечивши максимальну швидкість леза ножа в напрямку руху пристрою, тобто в напрямку X. З іншого боку, напрямок Y не має істотного впливу на швидкість лопаті, оскільки вона працює таким чином, що відокремлює

масу від загальної маси своєю боковою поверхнею. Незважаючи на це, відокремлені останки опустяться під власною вагою і осідуть на землю [8].

Встановлено також, що швидкість лопаті в напрямку еквівалентна первинній похідній рівняння траєкторії.

$$V_X = \frac{dX}{d\varphi} = (R - a \cdot \sin\varphi) \cdot \cos\varphi - (R + a \cdot \cos\varphi) \cdot \sin\varphi + V$$

$$V_Y = \frac{dY}{d\varphi} = (R - a \cdot \sin\varphi) \cdot \sin\varphi - (r + a \cdot \cos\varphi) \cdot \cos\varphi$$

Абсолютна швидкість леза визначається так:

$$V_{\Sigma} = \sqrt{V_X^2 + V_Y^2}$$

Частота коливань нерозривно пов'язана з поступовим темпом, з яким агрегат рухається, як визначено формулою $f = 1/T$.

На підставі емпіричних даних встановлено, що оптимальна висота штанги повинна бути в межах 100-120 мм. При цьому довжина бруска обмежена довжиною барабана, яка в більшості випадків становить близько 2,0-2,1 м. Поки шар ґрунту не сповзає на поверхню бруска, як передбачено розрахунковою схемою (як показано на рис. 1.13), ця конфігурація буде ефективною. Ця інформація підтверджується дослідженням [18].

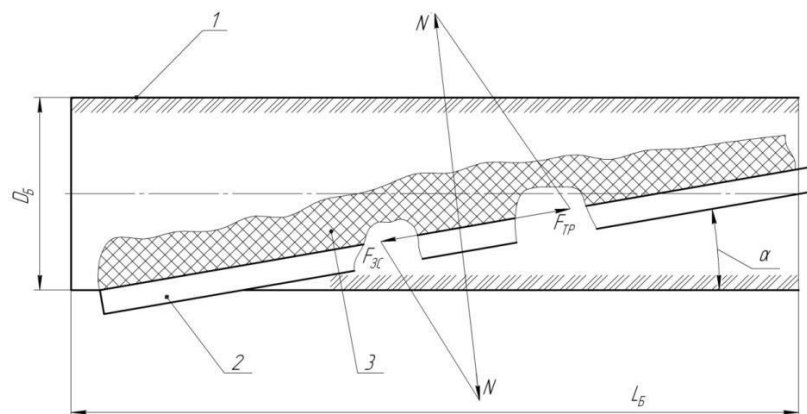


Рисунок 1.13 – Розрахункова схема для визначення кута постановки планки до осі обертання барабану: 1) барабан; 2) планка 3) шар ґрунту

Величини прикладених сил у цьому конкретному випадку не мають значення.

$$F_{TP} = N \cdot \operatorname{tg} \varphi_1$$

$$F_{3C} = N \cdot \operatorname{tg} \alpha$$

Щоб отримати точну оцінку виходу матеріалу через утворені отвори, необхідно звернутись до фундаментальних принципів теорії витоку Панченка.

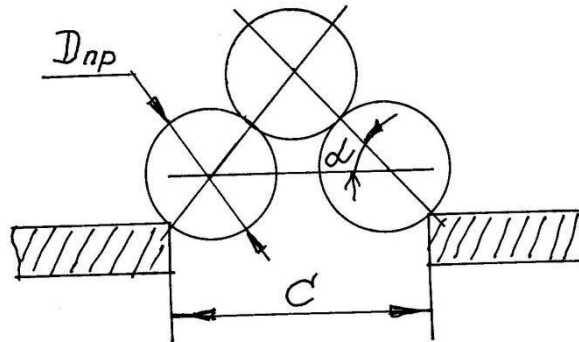


Рисунок 1.14 – Розрахункова схема витікання ґрунтових агрегатів через зазор між планкою та барабаном

На рис. 1.15 зображено запущений у виробництво багатофункціональний агрегат «Компакт». Ця машина може похвалитися аналітичним підходом до конструктивних параметрів її окремих компонентів, а також її загальної компоновки.



Рисунок 1.15 Багатофункціональний ґрунтообробний агрегат «Компакт»

1.3 Дискові агрегати для подрібнення рослинних решток

За часів до появи роликів подрібнювачів рослинні залишки традиційно видаляли шляхом подрібнення та оранки. Спочатку це завдання виконували

луцильники, а пізніше дискери, обидва з яких були машинами, призначеними для подрібнення пожнивних решток своїми ріжучими кромками. Ці машини також могли обертати шар ґрунту своїми сферичними дисками, що дозволяло орати залишки на глибину до 15 см. Хоча процес сферичного диска важко дослідити теоретично, через криву лінію, яка утворює його поверхню під час руху, радіус і кривизна диска були обґрунтовані А. Есоянном [9].

$$D = 2R_K \cdot \frac{\cos\alpha - f\sin\alpha}{\sqrt{1 + f^2}}$$

де f – коефіцієнт тертя;

R_K – радіус кривизни диска, м;

α – кут атаки диска, град.

Як правило, дискова батарея може бути зображена як круглий барабан і систематично проаналізована за допомогою окремого підходу. Відповідно до запропонованої авторами методики [9], визначення діаметра диска та радіуса його кривизни можна здійснити за допомогою формули:

$$D = 2 \cdot a \cdot \left(1 + \frac{d}{2 \cdot a} + \operatorname{tg}^2 \gamma + \operatorname{tg} \gamma \cdot \sqrt{1 + \frac{d}{2 \cdot a} + \operatorname{tg}^2 \gamma}\right),$$

де γ – кут підйому ґрунту по поверхні диска;

d – діаметр ступиці;

a – заглиблення диска.

$$R = \frac{D}{2 \cdot \sin(\alpha - i - \varepsilon)}$$

$\alpha = 40^\circ$;

$i = 15-20^\circ$, кут заточування;

$\varepsilon = 0^\circ$ – задній кут.

На основі розрахунків, проведених за цією методологією, показано, що оптимальні вимірювання для D і R в ґрунтових умовах, які переважають у центральному регіоні України, складають 510 мм і 600 мм відповідно.

Зображення на рисунку 1.16, демонструє найбільш часто використовувані ітерації дисків, які були покращені, щоб забезпечити більшу здатність для різання як очищувальних, так і дискових машин.

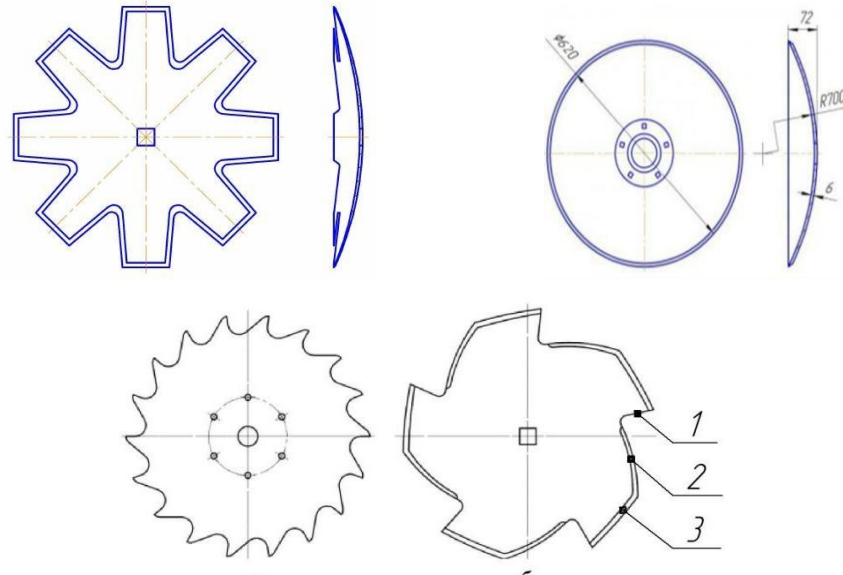


Рисунок 1.16- Варіанти виконання дисків дискаторів та лушчильників

Висновки

Використання подрібнювача як окремого механізму для подрібнення та внесення рослинних залишків у ґрунт є практикою, яка заслуговує на увагу в сучасному сільському господарстві. У ситуаціях, коли місцевість особливо нерівна та заросла, для отримання оптимальних результатів часто використовують важкий каток.

У сфері сільськогосподарського машинобудування раціональні розміри барабана залежать від типу збиральної культури. Для культур з грубими стеблами рекомендується барабан довжиною 200 мм. В якості альтернативи для збирання трави рекомендується використовувати барабан довжиною 50-100 мм. Крім того, діаметр кола планок, як описано, повинен коливатися в межах 350-450 мм, щоб оптимізувати процес збирання врожаю.

Поліпшення конструкції можна досягти шляхом включення різання з ковзанням і вібрацією. Ефективність дискових робочих органів обмежена лише оранкою.

РОЗДІЛ 2

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КОНСТРУКЦІЇ

Створення вібрації через взаємодію робочих органів з середовищем, що обробляється, є перспективним підходом. Емпіричні дані, отримані в ході польових випробувань [8], вказують на ефективність використання принципу вібраційного впливу в поєднанні з подрібнювальним валком. Наші дослідницькі зусилля наразі зосереджені на встановленні ефекту вібрації, який виникає внаслідок встановлення пластин ексцентричним способом, а не самого валу.

2.1 Загальні принципи розробки конструкції

Розробка агромашини оригінальної конструкції виконувалася поетапно, як показано на малюнку 2.1.

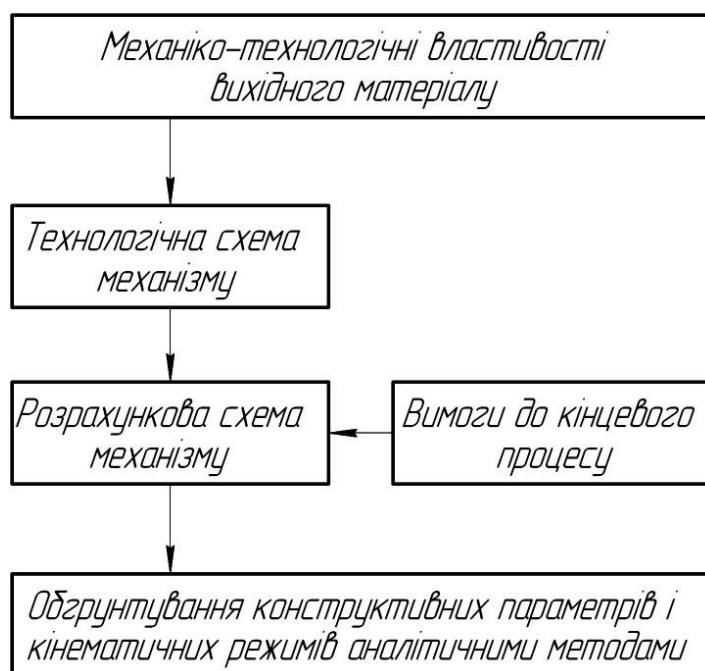


Рисунок 2.1 – Схема виконаних досліджень по розробці конструкції катка-подрібнювача

Після проведення ретельного аналізу сучасних конструкцій було встановлено, що ефективність робочого механізму можна підвищити за допомогою введення віброударних стрижнів. Ефективність цього методу

перевірено в експерименті з установкою барабана на ексцентриковий вал, який дав позитивні результати [8]. Під час подальших експериментів було прийнято за основу рішення, запропоноване ДП «Гуляйпільський механічний завод» (рис. 2.2). Також схожу конструкцію має каток-подрібнювач причіпний GENERAL CRASHER 6 (рис. 2.3), який також був узятий за основу.



Рисунок 2.2 - Дослідний зразок катка-подрібнювача ДП «Гуляйпільський механічний завод ПАТ «Мотор-Січ»»



Рисунок 2.3 - Каток-подрібнювач причіпний GENERAL CRASHER 6



Рисунок 2.4 – Конструктивне виконання барабану



Рисунок 2.5 – Каток у зборі

2.2 Аналітичні дослідження

Розрахункова схема конструкції представлена на рисунку 2.6.

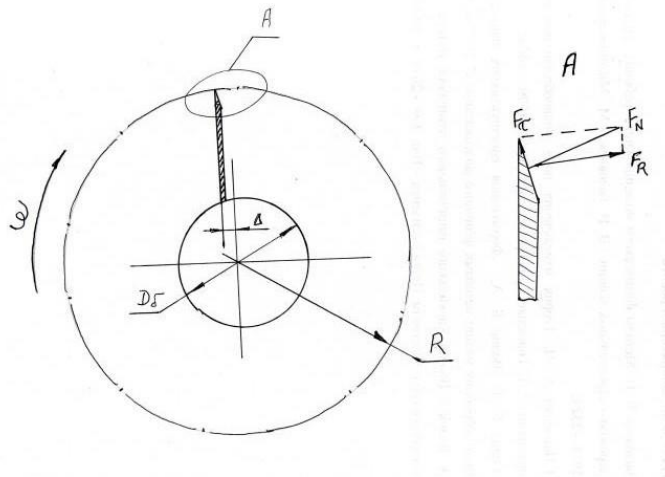


Рисунок 2.6 – Розрахункова схема катка

Всі придатні математичні моделі для класифікації базуються на логічних спрощеннях і припущеннях. Візьмемо, наприклад, ролик, який характеризується як ексцентричний вал, який безперешкодно рухається вздовж горизонтальної площини. Завдяки комплексному аналізу абсолютного руху бруска, як задокументовано в [18], дослідження прирівнює рух бруска до руху типової садової лопати. Під час моделювання було визначено, що траєкторія абсолютного руху є циклоїдою.

Класична форма рівняння циклоїди в нашому випадку не може бути прийнята через наявність ексцентриситету.

$$\begin{aligned} X &= R \cdot (t - R \cdot \sin t) - \delta \\ Y &= R \cdot (1 - R \cdot \cos t) - \delta \end{aligned} \quad (2.1)$$

де R – радіус описаного кола леза планки
 δ – зміщення планки відносно осі барабану
 t – текуче значення кута обертання барабану.

У наведеному нижче сценарії можливі два варіанти дій: стрижень може або продовжувати ковзати по поверхні, або він може занурюватися в борознисту землю.

Наше дослідження припускає, що пластина опускається до рівня деформації ґрунту, викликаної масою барабана. Ця гіпотеза узгоджується з таким математичним виразом:

$$P = K' \cdot a \cdot L \cdot \varepsilon = m \cdot g,$$

де P – Сила зминання шару ґрунту
 K' - коефіцієнт об'ємного зминання ґрунту;
 a – глибина занурення;
 ε – товщина листа, з якого планка виготовлена
 $L = 2,0$ м – довжина планки
 m - маса барабану

Враховуючи той факт, що використовувався спосіб оранки – неглибокий, з робочою глибиною від 5 до 8 сантиметрів.

При проектуванні роликової системи вкрай важливо переконатися, що вага ролика відповідає передбачуваному застосуванню. Оптимальна вага ролика залежить від кількох факторів, включаючи матеріал ролика, площу поверхні ролика та очікувану несучу здатність. Таким чином, необхідно ретельно розглянути ці змінні та визначити відповідну вагу ролика для кожної системи.

$$m = 0,08 \cdot K' \cdot L \cdot \varepsilon / g, \quad (2.2)$$

Порахувавши, отримуємо масу 110 кілограмам.

2.3 Тяговий опір катка

Універсальність конструкції агромашини дозволяє відносно легко інтегрувати її з більшістю типів машин, завдяки чому розрахунок тягового опору виконується виключно для самої ковзанки, а не для всього пристрою.

Ознайомившись із різними літературними джерелами [7, 9, 13], стає очевидним, що оцінка тягового опору землерийних машин потребує ретельного вивчення впливу окремих конструктивних елементів робочого органу на ґрунтове середовище.

В результаті утворення стружкової призми по периметру різання результуюча сила спрямована вертикально, тим самим її можна не враховувати. Щоб краще зрозуміти це явище, уявімо брусок як кінцевий клин певної довжини. Робоча поверхня цього клина піддається різним формам сил тиску, високошвидкісного тертя тиску та сил затуплення леза. Ці сили необхідно проаналізувати, щоб зрозуміти їхній вплив на планку.

Відповідно до висновків В.Н. Дроздова визначали силу, необхідну для переміщення шару підрізаного матеріалу по площині леза, інакше її називають опорною силою P [4].

$$P = \frac{mg(\sin \alpha_p + f \cos \alpha_p)}{\cos \alpha - f \sin \alpha}, \quad (2.3)$$

Було встановлено, що затуплення леза призводить до появи додаткових сил, що діють на нього, як свідчать попередні дослідження [13]:

$$P_{зам} = R_1 = K'(Z + tg\varphi_1 \cdot X) \cdot \epsilon_3, \quad (2.4)$$

Формула Ветрова [13] забезпечує розрахунок напору швидкості:

$$P_V = \frac{9,81 \cdot \epsilon_3 \cdot a \cdot \gamma}{g} \cdot \frac{\sin \alpha_p \cdot \cos \theta}{\sin(\alpha_p + \theta)} \cdot V^2, \quad (2.5)$$

Опір коченню при розтягуванні конструкції є критичним фактором, який слід враховувати при аналізі її загальних механічних властивостей. Це стосується здатності конструкції протистояти силам, які виникають під час обертання або повороту. Цей опір визначається властивостями матеріалу конструкції, включаючи її пружність, міцність і пластичність. Опір коченню при розтягуванні зазвичай вимірюється за допомогою різних методів випробувань, таких як випробування на розтяг, випробування на стиск і випробування на згин. Ці випробування дозволяють дослідникам отримати уявлення про здатність конструкції зберігати свою цілісність за різних типів навантажень і сил.

$$P_{\Pi} = f \cdot m \cdot g,$$

Коефіцієнт згортання, позначений f , залежить від безлічі факторів, які практично неможливо передбачити. В аналогічних сценаріях за норму прийнято приймати найбільш несприятливий результат. Після ретельного вивчення джерела [14] ми вирішили прийняти $f = 0,85$.

Під час нашого дослідження було виявлено, що використовуваний тензометричний візок не здатний виміряти тяговий опір усієї машини. Тому в нашому експериментальному аналізі, детально описаному в третьому розділі, ми надаємо дані лише для окремого ролика. Опір кожного окремого ролика розраховано аналітично, і отримане значення є таким:

$$P_{\Sigma} = P + P_{\text{зат}} + P_V + P_{\Pi} \quad (2.6)$$

2.4 Кінематичні параметри катка

Кутова швидкість катку:

$$\Omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot R}{V}, \quad (2.7)$$

Вимірювання амплітуди ударних коливань:

$$A = 2 \cdot \delta = 20 \text{ мм}$$

Частота коливань, викликаних віброударом:

$$f = \frac{n}{\omega},$$

де ω – швидкість руху агромашини;

n – число планок в барабані.

2.5 Прогнозована ступінь подрібнення рослинних решток

Розглянутий процес за своєю суттю має імовірнісний характер, оскільки він нерозривно пов'язаний із розміром рослинних решток та їх передбачуваним розташуванням на поверхні ґрунту. Кількість планок, необхідних для виконання даного завдання, залежить від допустимої довжини подрібнених рослинних залишків. Загально визнано, що середня відстань між вузлами стебла кукурудзи становить приблизно 15 сантиметрів. Отже, виходить, що ідеальна довжина останків - не більше 15 сантиметрів. Таке міркування призводить до раціонального визначення необхідної кількості планок.

$$n = 2 \cdot \pi \cdot R / (120 - 150),$$

де R – радіус описаного кола, мм.

У разі укладання рослинних решток уздовж руху катка, можна припустити цю залежність.

Висновки

Переважаючим обмеженням сучасних моделей взаємодії робочих органів із ґрунтовим середовищем є їхня залежність від заздалегідь заданих вихідних даних. Незважаючи на те, що цей підхід спрощує модель, він вимагає численних припущень і спрощень, що зрештою знижує точність обчислених результатів. Запропонована нами модель включає детальний аналіз структурних компонентів, усунення необхідності введення більшості припущень. Ця модель пропонує переваги використання знайомих елементів моделювання, таким чином дозволяючи застосовувати вже існуючі математичні рамки.

В умовах роботи з сільськогосподарськими рослинними залишками раціональним вважається діаметр рейкового кола 350 мм. Крім того, для оптимального збудження коливань ексцентриситет повинен бути встановлений в межах 20-25 мм, що знаходиться в межах раціональних значень.

РОЗДІЛ 3

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Програма і методика експериментальних досліджень

Оцінюючи ефективність виконання технологічного процесу робочим органом, необхідно враховувати кілька попередніх параметрів. Ці параметри є основою для оцінки якості виконання: вага робочих органів, радіус барабану, діаметр описаного кола планок, кут встановлення планок, їх кількість та швидкість руху агрегату. Також варто врахувати властивості ґрунту.

Для ефективного аналізу ґрунту необхідно з'ясувати як його механічні, так і технологічні властивості. Додатково необхідно визначити параметри рослинної маси, в тому числі, але не обмежуючись кількістю зеленої маси в кілограмах на квадратний сантиметр, а також параметри насадження зерна в сантиметрах квадратних.

Дослідження структурних параметрів інструменту виявляє кореляцію між тяговим опором інструменту та кришенням ґрунтової маси. Необхідно провести подальше дослідження, щоб визначити ступінь цієї залежності та її наслідки.

Ступінь подрібнення рослинних решток сільськогосподарських культур з грубими стеблами можна оцінити за допомогою двох компонентів: інтегрального показника, який вказує на стан решток як до, так і після проходження агрегату. Перед проходженням агрегату стан залишків можна оцінити шляхом підсумовування довжин стебла, як описано формулою [8]:

$$L_{\Sigma} = n \cdot L_c,$$

Щоб оцінити стан залишків після того, як каток пройде, ми позначаємо область розміром 1,0×1,0 метри, виділяємо останки, які перевищують 5-сантиметровий поріг, і встановлюємо середню довжину шляхом вимірювання [18].

Кількісне визначення ступеня помелу визначається за допомогою спеціальної формули:

$$K_{\text{ПД}} = L_{\Sigma} / (m \cdot L_{\text{СР}}),$$

За допомогою катка можна подрібнювати рослинні залишки та закладати їх у ґрунт на глибину до 10 см під час оранки.

Один з потенційних методів оцінки якості формування поверхневого шару передбачає використання коефіцієнта:

$$K_{\text{П}} = m_{\text{р}} / m,$$

Рішення обмежити довжину рослинних решток максимум 5 сантиметрами ґрунтується на спостереженні про те, що сучасні сівалки демонструють негативну реакцію на існування довших решток. Рисунок 3.1 ілюструє процес визначення кута нахилу φ_2 за допомогою транспортера та лінійки.

Після проведення ретельного аналізу доступних джерел стало зрозуміло, що встановлених показників для оцінки якості формування шару мульчі не існує. Тому ми розробили набір методів для непрямой оцінки даного процесу. Ці методи були запропоновані нами і призначені для повного розуміння якості формування шару мульчі.

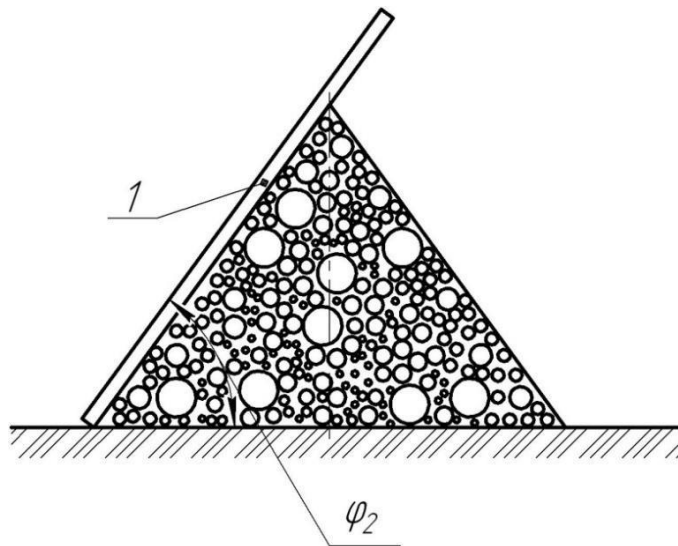


Рисунок 3.1 – Схема для визначення коефіцієнта внутрішнього тертя ґрунтового середовища, що збагачене рослинними рештками

3.2 Загальні результати досліджень

У результаті проведення дослідів на окремих насадженнях і агрофонах властивості ділянок представлені індивідуально для кожного відповідного дослідіду.

Зафіксовано, що технологічний процес, який забезпечує валковий подрібнювач, проходить без технологічних збоїв. Під час роботи спостерігалось, що барабани обертаються плавно без будь-яких випадків ковзання.

При візуальному огляді дефектів не виявлено. Проте спостерігалася помітна різниця в розмірі грудок після проходження експериментальних і серійних машин, що було підтверджено результатами просіювання. Обидві машини змогли ефективно знищити майже всю поверхневу кору. Жодних слідів прилипання ґрунту до пластин не виявлено, особливо в зоні з'єднання рейкового барабана. Глибина занурення не перевищувала 8 см в обох варіантах, хоча цей параметр не вважався суттєвим у дослідженнях і тому не перепроверявся. Коефіцієнт доступності, який відноситься до ймовірності роботи машини протягом будь-якого періоду часу, був визначений як $K_{\Gamma} = 0,99$.

3.3 Подрібнення рослинних решток

Для проведення первинного експерименту була реалізована кодована форма з використанням симетричного плану $3 \times 3 \times 3$. Рівні дисперсії для факторів представлені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Рівні варіювання факторів

Фактор	Код	Рівні факторів		
		-1	0	+1
Ексцентриситет δ , мм	X_1	0	5	10
Ширина планки, мм	X_2	50	100	150
(Робоча швидкість, м/с)*	X_3	3,5	4,5	5,5

Враховуючи високу вартість, пов'язану з проведенням повномасштабного експерименту, для отримання базових даних було використано спрощений метод. Проміжні значення потім були отримані шляхом інтерполяції. У таблиці 3.2 представлена матриця фактично проведеного експерименту.

Умови, у яких був проведений експеримент:

Площа ділянки 210 га.

Питоме зчеплення частинок ґрунту 2,2 кН/м².

Кут внутрішнього тертя ґрунту становить 38°.

Порогове значення несучої здатності 420 кН/м².

Агрофон складається з залишків рослинного матеріалу, який залишається після збирання врожаю кукурудзи.

Таблиця 3.2 – Матриця проведення експерименту

X ₁	X ₂	X ₃	
0	0	0	1,8
-1	-1	-1	2,92
+1	+1	+1	4,18
-1	0	+1	2,93
0	+1	-1	1,22

На основі проведених обчислень було виведено канонічне рівняння:

$$0.9 \times (X_1 + 0.1)^2 + 0.85 \times X_2^2 + 0.43 \times X_3 + 0.2 \times (X_1 + 0.1) + 1.8 = 0 \quad (3.1)$$

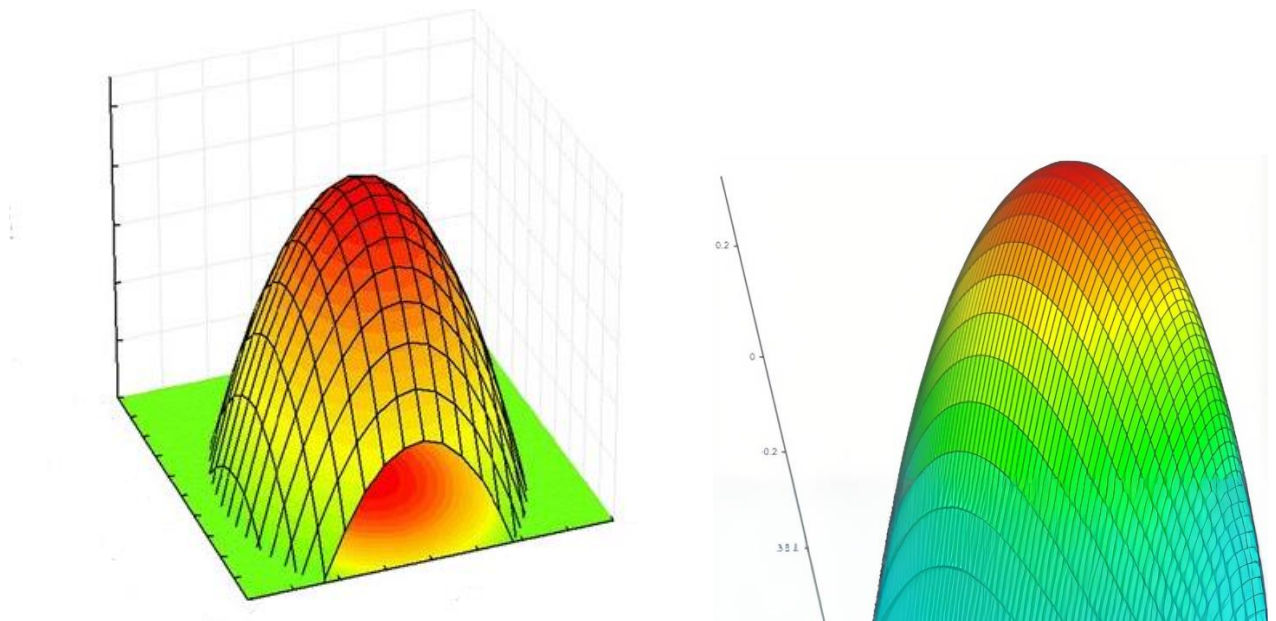


Рисунок 3.2 - Графічна інтерпретація рівняння регресії

Після аналізу рівняння регресії (3.1) і відповідної поверхні відгуку стає очевидним, що рівень

$$X_1=X_2=X_3=1.0$$

є виправданим вибором для цього проектного рішення.

3.4 Кришення ґрунту

У таблиці 3.3 наведено результати аналізу зразків ґрунту, отриманих шляхом просіювання на глибину 8 см. Зразки були відібрані після успішного випробування агрегату з раціональними конструктивно-кінематичними параметрами.

Таблиця 3.3 - Розподіл ґрунтових відмінностей взятих проб

Діаметр отвору решета, мм	Маса фракції, кг	Коефіцієнт структурності
$D \leq 20$	3,74	0,23
$D \geq 20$	12,39	
Всього маса проби	16,13	

3.5 Дослідження тягового опору

У табличній формі подано для аналізу результати досліджень, проведених на одному барабані.

Таблиця 3.4 - Тяговий опір катків експериментальної і серійної машин

Робоча швидкість, км/год	Тяговий опір, кН	
	Серійна машина	Дослідна машина
5,91	1,12	1,03
8,02	1,29	1,24
9,47	1,61	1,56
12,21	2,08	2,03
13,62	2,49	2,46
15,15	2,76	2,71
18,00	3,03	2,95

Масив даних зображено візуально на рисунках 3.3 і 3.4, що забезпечує графічну інтерпретацію отриманих даних. Після аналізу було виявлено, що залежності представлені лінійно, хоча варто підкреслити, що ступінь кореляції помітно сильніший у серійній машині.

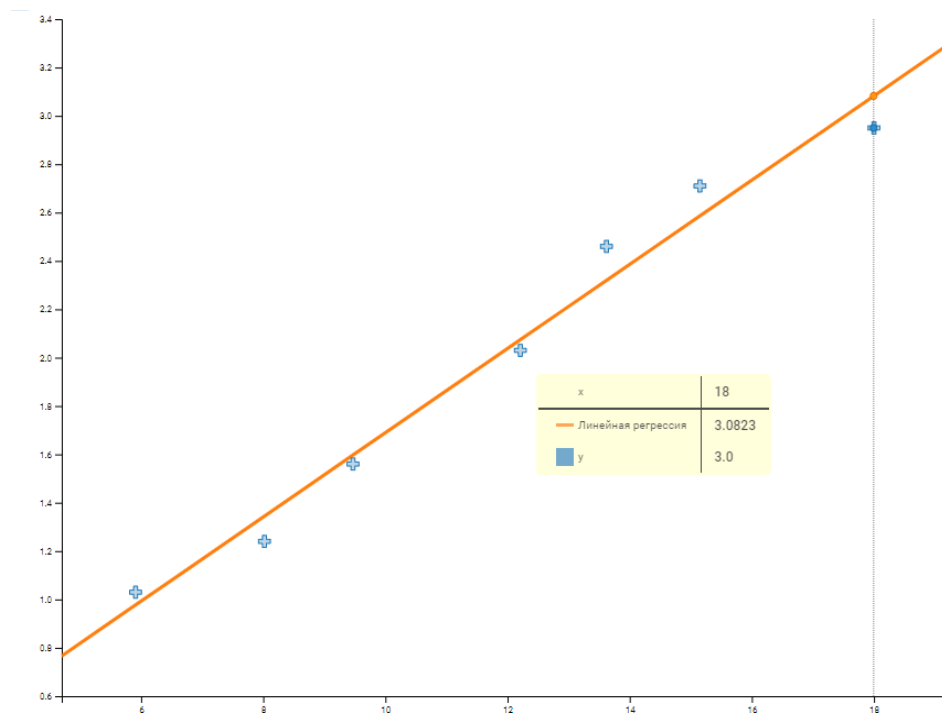


Рисунок 3.3 - Графічна інтерпретація залежності тягового опору дослідної машини від поступової швидкості

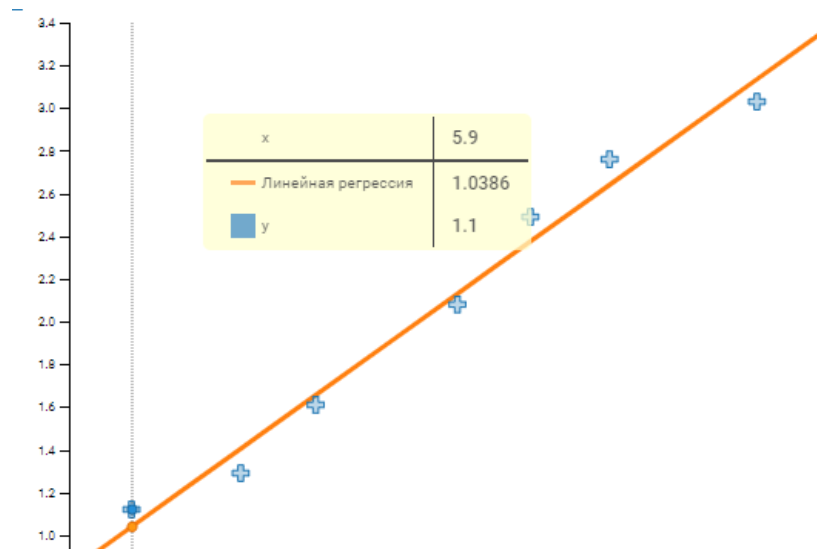


Рисунок 3.4 - Графічна інтерпретація залежності тягового опору серійної машини від поступової швидкості



Рисунок 3.5 – Робота агрегату в польових умовах (зліва до проходження, справа після проходження агрегату)

Провівши аналіз наданих фотовідбитків, можна зробити висновок, що пристрій має можливість ефективно маніпулювати значними коливаннями складу ґрунту.

Висновки

Емпіричні дослідження підтвердили достатність розробленої математичної моделі та ефективність розробленого агрегату. Покращений каток дав структурний коефіцієнт $K_{ст}$ для товщі землі 0.23, перевершуючи серійний прототип на 10-15%. Оптимальними конструктивними параметрами інструменту

є ексцентриситет 10 мм і ширина бруска 150 мм, що забезпечує ступінь помелу 4.18.

Експериментальний каток і серійний каток демонструють однакові рівні тягового опору, незважаючи на те, що основною метою було покращити якість процесів дроблення та подрібнення, і ця мета була успішно досягнута. Ефективність запропонованих методологій експериментальних досліджень була належним чином продемонстрована.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Під час роботи з ґрунтообробними агрегатами важливим аспектом є забезпечення безпеки праці та мінімізація ризиків для здоров'я операторів і працівників, залучених до експлуатації, обслуговування та ремонту сільськогосподарської техніки. Недотримання вимог охорони праці може призвести до серйозних нещасних випадків, травм і негативного впливу на здоров'я працівників. Тому важливо вживати заходів щодо запобігання небезпечним ситуаціям і створювати безпечні умови праці.

Основні небезпеки та ризики

1. Механічні небезпеки:

Робота з ґрунтообробними агрегатами, що містять рухомі частини (ножі, диски, вали, ротори), створює ризик отримання травм через можливий контакт з ними під час експлуатації або технічного обслуговування. Виникає загроза порізів, ударів, защемлень або відриву кінцівок. Особливо небезпечними є випадки, коли машина працює на високих обертах або під час технічного обслуговування, коли працівники контактують з робочими органами агрегату.

2. Шум та вібрація:

Під час роботи ґрунтообробні агрегати генерують значний рівень шуму і вібрації, що негативно впливає на органи слуху, нервову систему та опорно-руховий апарат працівників. Довготривалий вплив цих факторів може призвести до професійних захворювань, таких як порушення слуху або вібраційна хвороба.

3. Пил та хімічні речовини:

Робота агрегатів під час обробки ґрунту супроводжується утворенням пилу, який може містити залишки добрив, пестицидів та інших хімічних речовин. Вдихання цього пилу може викликати захворювання дихальних шляхів, алергічні реакції та інші проблеми зі здоров'ям.

4. Електричні небезпеки:

Використання електрифікованого обладнання або проведення технічного обслуговування електросистем агрегату створює ризик ураження електричним струмом у разі порушення ізоляції або неправильної експлуатації електроприладів.

5. Пожежо- та вибухонебезпека:

Агрегати, що працюють на дизельному або бензиновому паливі, можуть становити загрозу займання або вибуху в разі порушення правил експлуатації, зокрема у випадках витоку палива, накопичення пилу або використання відкритого вогню в зоні проведення технічних робіт.

Заходи щодо запобігання небезпечним ситуаціям

1. Технічні заходи безпеки:

- Огородження рухомих частин агрегату: Для запобігання контакту працівників з небезпечними частинами слід встановлювати захисні кожухи, що повністю закривають рухомі елементи під час роботи. Крім того, механізми повинні бути оснащені блокувальними пристроями, що зупиняють роботу агрегату при відкритті огорожень.

- Регулярне технічне обслуговування: Проводити своєчасний огляд та ремонт агрегатів для виявлення можливих несправностей та зношення деталей. Особлива увага повинна приділятися контролю стану електричних кабелів, ізоляції та систем живлення.

- Системи контролю шуму та вібрації: Для зменшення впливу шуму та вібрацій на працівників використовуються спеціальні демпфери та амортизаційні підкладки в конструкції техніки. Працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту слуху (беруші або навушники).

2. Організаційні заходи безпеки:

- Навчання та інструктаж працівників: Працівники повинні регулярно проходити інструктажі з техніки безпеки, навчатися правильній експлуатації та

обслуговуванню ґрунтообробних агрегатів, зокрема, дотриманню правил безпеки під час зупинки, запуску та технічного обслуговування.

- Контроль за дотриманням правил охорони праці: Проводити систематичний контроль за дотриманням працівниками правил техніки безпеки, організувати періодичні перевірки робочих місць та обладнання на предмет відповідності стандартам безпеки.

3. Засоби індивідуального захисту (ЗІЗ):

- Оператори та працівники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту, такими як спецодяг, рукавички, захисні окуляри, маски для дихання та беруші. Спецодяг повинен бути виготовлений з матеріалів, стійких до механічних пошкоджень та забруднень.

- Для роботи в умовах високого рівня шуму і вібрацій слід використовувати антивібраційні рукавиці та взуття.

Висновок

Забезпечення охорони праці під час роботи з ґрунтообробними агрегатами є важливим завданням, що вимагає системного підходу до виявлення потенційних небезпек, організації технічних і організаційних заходів безпеки, а також використання засобів індивідуального захисту. Завдяки правильній організації охорони праці можна значно знизити рівень травматизму, підвищити продуктивність працівників та забезпечити безпечні умови для ефективного функціонування аграрного сектору.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Витрати праці, понесені при виробництві одного зерна кукурудзи, визначені для обох технологій, враховуючи площу 100 га.

При використанні інтенсивної технології: 697.5 люд.-год.

При використанні No-till технології: 251.1 люд.-год.

Витрати на оплату праці для кожної одиниці площі будуть такими:

$$z_{m.yd.i} = \frac{T_i}{F_i}. \quad (5.1)$$

$$z_{m.yd.n} = \frac{T_n}{F_n}. \quad (5.2)$$

Тоді

$$z_{m.yd.i} = \frac{697,45}{100} = 6,9745 \text{ люд.} - \text{год.} / \text{га} .$$

$$z_{m.yd.n} = \frac{251,05}{100} = 2,505 \text{ люд.} - \text{год.} / \text{га} .$$

Витрати на паливо, понесені при виробництві зерна кукурудзи за обома технологіями:

При використанні інтенсивної технології: 7034 кг

При використанні No-till технології: 5436 кг

Витрати палива на одиницю площі:

$$g_{m.yd.i} = \frac{T_i}{F_i}. \quad (5.3)$$

$$g_{m.yd.n} = \frac{Q_n}{F_n}. \quad (5.4)$$

Тоді

$$z_{m.yd.i} = \frac{7034,64}{100} = 70,3468 \text{ кг/га.}$$

$$z_{m.yd.n} = \frac{5426,26}{100} = 54,2626 \text{ кг/га.}$$

Кількісна оцінка зменшення витрат на оплату праці визначається за допомогою формули:

$$C_T = \frac{z_{mi} - z_{mii}}{z_{mi}} \cdot 100\%. \quad (5.5)$$

Тоді

$$C_T = \frac{697,45 - 251,05}{697,45} \cdot 100\% = 64,00\%.$$

Формула, яка визначає собівартість продукції:

$$C_{в.к} = \frac{C_n + C_{ii}}{Q}. \quad (5.6)$$

Формула, за якою визначається денна оплата праці робітників, зайнятих на вирощуванні кукурудзи, така:

$$z_n = z + H_{ap} \cdot z \quad (5.7)$$

Визначення амортизаційних відрахувань ґрунтується на формулі:

$$A_n = \frac{B_n \cdot a}{100} \cdot k_{зав.} \quad (5.8)$$

де B_n – балансова вартість енергетичних засобів, що працюють на виробництві кукурудзи, грн.;

a – норма амортизації, %

$k_{зав.}$ – коеф. завантаження, що залежить від наробітку.

Витрати, пов'язані з утриманням та ремонтом техніки, визначаються виходячи з нормативу грошових витрат на 1 га, який визначається за такою формулою:

$$P_n = \sum_{i=1}^m S_i \cdot \sum H_{mpi} \quad (5.9)$$

Загальні витрати на паливо можна розрахувати за формулою.

$$T_n = P_{mi} \cdot Ц_{ki} \quad (5.10)$$

$$T_{ni} = 7034,68 \cdot 5,7 = 40097,68 \text{ грн.}$$

$$T_{nn} = 5426,26 \cdot 5,7 = 30929,82 \text{ грн.}$$

Розрахунок страхових виплат за обладнання, яке використовується при вирощуванні кукурудзи на зерно, визначається за точною формулою, яка базується на балансовій вартості цього обладнання:

$$П_{cn} = B_n \cdot H_{cn}, \quad (5.11)$$

Оцінка витрат як для основних, так і для допоміжних компонентів визначається за допомогою формули, яка являє собою добуток витрат на насіння, добрива та гербіциди з пестицидами:

$$M_n = M_c + M_{y\delta} + M_{гер} + M_{пест}, \quad (5.12)$$

$$M_{ni} = 15620 + 31250 + 22400 = 69270 \text{ грн.},$$

$$M_{nn} = 15620 + 41500 + 48560 = 105680 \text{ грн.}$$

Ввівши необхідні значення у формули, отримуємо результати, що зведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко-економічна ефективність пропонованого технологічного рішення

Показник	На 1 га інтенсивна технологія	На 1 га «нульова» технологія	На 1 т інтенсивна технологія	На 1 т «нульова» технологія
1. Затрати праці, люд.-год.	6,97	2,51	1,55	0,63
2. Заробітна плата з нарахуваннями, грн.	31,11	15,93	6,91	3,98
3. Вартість насіння, грн.	156,20	156,20	34,71	39,05
4. Вартість мінеральних добрив, грн.	312,50	415,00	69,44	103,75
5. Вартість засобів захисту, грн.	224,00	485,60	49,78	121,40
6. Вартість ПММ, грн.	400,98	309,30	89,11	77,32
7. Амортизаційні витрати, грн.	383,74	1260,11	85,28	315,03
8. Відрахування на ремонт основних засобів, грн.	402,09	979,91	89,35	244,98
9. Плата за оренду земельних ділянок, грн.	150,00	150,00	33,33	37,50
10. Інші витрати, грн.	60,90	128,26	13,53	32,07
Всього витрат, грн.	2121,52	3900,31	471,45	975,08

Провівши розрахунки для порівняння інтенсивної та «нульової» технології, можна зробити декілька висновків. По-перше, «нульова» технологія демонструє значне зниження витрат на оплату праці, палива та заробітну плату, відповідно, у 2,78 раза, 1,28 раза та 3,5 раза менше, ніж при інтенсивній технології. Проте комплексна вартість «нульової» технології в 9,39 разів вища, ніж інтенсивної.

ВИСНОВКИ

1. При застосуванні мінімальних та інтенсивних агротехнічних прийомів каток-подрібнювач зарекомендував себе як високоефективне обладнання при автономному використанні. Його ефективність особливо помітна на нещільно ущільнених ґрунтах, що відповідає вимогам органічного землеробства. Крім того, каток з високою масою можна ефективно розгортати на місцевості, яка сильно заросла бур'яном.

2. Раціональні параметри агрегату такі: для культур з грубим стеблом призначений діаметр барабана 200 мм, для трав – діаметр 50-100 мм. Діаметр кола пластин 350-450 мм.

3. Потенційний шлях для вдосконалення конструкції полягає в інтеграції ковзного різання та включенні вібраційної дії.

4. Існуючі моделі взаємодії робочих органів із ґрунтовим середовищем загалом обмежені тим, що вони оперують наперед заданими початковими даними. Хоча цей підхід спрощує модель, він вимагає значної кількості припущень і спрощень, які знижують точність обчислених результатів. Запропонована нами модель пропонує більш детальний аналіз складових елементів конструкції, що усуває потребу в багатьох із цих припущень. Ця модель може похвалитися кількома перевагами, у тому числі використанням більшості елементів, що містяться в добре відомих моделях, що дозволяє використовувати вже існуючі математичні інструменти.

5. При роботі з сільськогосподарськими залишками кукурудзи для оптимізації його раціонального значення рекомендовано встановлювати діаметр кола рейок 350 мм. Крім того, рекомендується встановити ексцентриситет в межах 20-25 мм, оскільки це найбільш оптимальний діапазон для збуджуючих коливань.

6. Експериментальні дослідження в цілому підтверджують адекватність розробленої математичної моделі та вірність обраних конструктивних рішень.

Коефіцієнт структурності ґрунту модернізованої машини $K_{ст} = 0,23$, що на 10-15% краще серійних зразків. Конструктивні параметри інструменту такі: ексцентриситет 10 мм, ширина планки стрижня 150 мм, що забезпечує ступінь дроблення 4,18.

7. Техніко-економічний аналіз показує, що ефективність впровадження розробленої конструкції у виробництво є хорошою. Порівняно з інтенсивною технологією трудомісткість «нульової» технології зменшується в 2,78 рази, палива — в 1,28 рази, вартість заробітної плати зменшується в 3,5 рази.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).
2. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*
3. Борисюк, Д. В., & Зелінський, В. Й. (2017). Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики, (5), 135-142.*
4. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*
5. Аулін, В. В., & Замота, О. М. (2017). *Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування* (Doctoral dissertation, ТНТУ).
6. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та, 309.*
7. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 274.*

8. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.

9. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.

10. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.

11. Домуці, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.

12. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.*

13. Василенко, М. О., Шаповал, Л. І., & Соколенко, О. М. (2017). Обґрунтування строків проведення ремонтно-обслуговуючих робіт мобільної сільськогосподарської техніки з використанням стратегії адаптивного технічного обслуговування і ремонту. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха*, 245-255.

14. Галич, І. В. (2019). Аналіз джерел вібрацій та коливань елементів машинно-тракторного агрегату. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (30), 72-79.

15. Антощенко, Р. В., & Антощенко, В. М. (2016). Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*, (2), 105-112.

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Антощенко, Р. В., Лебедєв, А. Т., & Антощенко, В. М. (2017). Керування енергетичними витратами машинно-тракторного агрегата. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*, (7), 172-179.

18. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.

19. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchyk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

20. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.

ДОДАТКИ

Додаток А