

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

ЛІПІНСЬКИЙ ДЕНИС РУСЛАНОВИЧ

УДК 631.51:631.3

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПРОЄКТ УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ
ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ З МОДЕРНІЗАЦІЄЮ
КОНСТРУКЦІЇ МУЛЬЧУВАЧА**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр

Кваліфікаційна робота містить результати власних розробок. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____ Д. Р. Ліпінський

Керівник роботи

Заєць М. Л.
кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2026

АНОТАЦІЯ

Ліпінський Денис Русланович. Проєкт удосконалення технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту з модернізацією конструкції мульчувача. – *Кваліфікаційна робота на правах рукопису.*

Кваліфікаційна робота на здобуття першого освітнього ступеня бакалавр зі спеціальності 208 «Агроінженерія». – *Поліський національний університет, Житомир, 2026.*

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту шляхом модернізації конструкції мульчувача. У роботі проведено аналіз сучасних технологій поверхневого обробітку ґрунту та технічних засобів для їх реалізації, досліджено конструктивні особливості існуючих мульчувачів, визначено їх переваги та недоліки.

На основі виконаного аналізу обґрунтовано напрями вдосконалення конструкції мульчувача, розроблено модернізований робочий орган та виконано необхідні інженерні розрахунки його основних параметрів. Проведено розрахунок технологічних і експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату, визначено його продуктивність та енергетичні витрати при виконанні поверхневого обробітку ґрунту.

У роботі проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованого технічного рішення, яке підтвердило доцільність впровадження модернізованого мульчувача у виробництво. Реалізація запропонованої конструкції забезпечує підвищення якості подрібнення рослинних решток, рівномірність їх розподілу по поверхні поля, зменшення енерговитрат та підвищення продуктивності технологічного процесу.

Ключові слова: *поверхневий обробіток ґрунту, мульчувач, рослинні рештки, модернізація конструкції, машинно-тракторний агрегат, продуктивність, енерговитрати, ґрунтообробна техніка.*

ABSTRACT

Denys Lipinskyi. Project for Improving the Technological Process of Surface Soil Tillage with Modernization of the Mulcher Design. – *Qualification Thesis Manuscript.*

Bachelor's Qualification Thesis in Specialty 208 "Agroengineering". – *Polissia National University, Zhytomyr, 2026.*

The qualification thesis is devoted to improving the technological process of surface soil tillage through the modernization of a mulcher design. The study presents an analysis of modern surface tillage technologies and the technical means used for their implementation. The design features of existing mulchers were investigated, and their advantages and disadvantages were identified.

Based on the conducted analysis, the directions for improving the mulcher design were substantiated, a modernized working unit was developed, and the necessary engineering calculations of its main parameters were carried out.

Technological and operational indicators of the machine-and-tractor unit were calculated, and its productivity and energy consumption during surface tillage operations were determined.

The thesis includes a technical and economic justification of the proposed engineering solution, which confirmed the feasibility of implementing the modernized mulcher in agricultural production.

The proposed design ensures improved quality of crop residue shredding, more uniform distribution of residues over the field surface, reduced energy consumption, and increased productivity of the technological process.

Keywords: *surface soil tillage, mulcher, crop residues, design modernization, machine-and-tractor unit, productivity, energy consumption, tillage machinery.*

ЗМІСТ

ВСТУП

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1. Значення та агротехнологічна роль поверхневого обробітку ґрунту.....	7
1.2. Агрофізичні процеси, що відбуваються при поверхневому обробітку ґрунту.....	7
1.3. Сучасні технології поверхневого обробітку ґрунту.....	8
1.4. Мульчувальний обробіток ґрунту.....	11
1.5. Технічні засоби для поверхневого обробітку ґрунту.....	13
Висновки до розділу 1.....	19

2. МОДЕРНІЗАЦІЯ І ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОЗАХИСНОГО МУЛЬЧУВАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ

2.1 Огляд конструкцій мульчувачів рослинних решток.....	20
2.2 Обґрунтування конструкції мульчувача рослинних решток.....	25
2.3 Розрахунок різьбових спряжень та кріплень.....	27
2.4 Розрахунок режимів нанесення зварних швів.....	29
2.5. Визначення параметрів приводу модернізованого мульчувача.....	31
2.6 Розрахунок та вибір параметрів ведучого вала приводу.....	34
2.7 Розрахунок кінематичних параметрів.....	39

3. РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МТА

3.1 Тягово-силовий розрахунок машинного агрегату.....	43
3.2. Визначення кінематичний параметрів роботи МТА.....	47
3.3 Визначення техніко-економічних показників роботи МТА.....	50

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....55

ВСТУП

Сучасне сільське господарство потребує впровадження ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту, які забезпечують збереження його родючості, зменшення енергетичних витрат. Важливе місце серед них займає поверхневий обробіток ґрунту, що сприяє накопиченню вологи, зниженню ерозійних процесів та створенню сприятливих умов для рослин.

Для якісного виконання цієї технологічної операції використовують мульчувачі, які забезпечують подрібнення та рівномірний розподіл рослинних решток по поверхні поля. Проте існуючі конструкції не завжди забезпечують належну якість роботи та характеризуються значними енерговитратами, що обумовлює необхідність їх удосконалення.

У зв'язку з цим актуальним завданням є вдосконалення технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту шляхом модернізації конструкції мульчувача, спрямованої на підвищення якості подрібнення рослинних решток, зменшення енергоємності процесу та покращення експлуатаційних показників машинно-тракторного агрегату.

Метою кваліфікаційної роботи є удосконалення технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту шляхом модернізації конструкції мульчувача для підвищення ефективності виконання технологічної операції.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій поверхневого обробітку ґрунту та технічних засобів для їх реалізації, проаналізувати конструктивні особливості мульчувачів і визначити напрями їх удосконалення;
- модернізувати конструкцію мульчувача;
- виконати інженерні розрахунки основних параметрів модернізованого робочого органу;

– визначити технологічні та експлуатаційні показники роботи машинно-тракторного агрегату;

– провести техніко-економічне обґрунтування технічного рішення;

Об’єктом роботи є технологічний процес поверхневого обробітку ґрунту.

Предметом роботи є конструктивні та технологічні параметри мульчувача, що впливають на якість подрібнення та розподілу рослинних решток.

Практичне значення роботи полягає в розробці технічного рішення щодо модернізації мульчувача, яке забезпечує підвищення якості виконання технологічного процесу та використання машинно-тракторного агрегату.

Методи використані при виконанні. Використовувалися теоретичні та розрахункові методи визначення параметрів машин. Проведено аналіз науково-технічної літератури, нормативної документації та сучасних агрегатів для поверхневого обробітку ґрунту.

Перелік публікацій автора за темою роботи:

1. Ліпінський Д. Р. Огляд існуючих конструкцій мульчувачів та обґрунтування конструктивної розробки. Студентські читання–2025: мат. наук.-практ. конф.. Житомир: Поліський національний університет, 2025. Т2. С. 15-17.
2. Ліпінський Д. Р. Обґрунтування параметрів конструкції мульчувача рослинних решток. Зб. Тез *XII Всеукраїнської науково-практичної конференції* «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» Житомир: ЖАТФК, 2026. С.65-67.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 24 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 57 сторінки комп’ютерного тексту, 10 рисунків та 2 таблиці.

1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ ТА ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЇХ РЕАЛІЗАЦІЇ

1.1. Значення та агротехнологічна роль поверхневого обробітку ґрунту

Поверхневий обробіток ґрунту є невід'ємною складовою сучасних ґрунтозахисних і ресурсозберігаючих технологій землеробства. Він спрямований на створення оптимальних умов для проростання насіння, регулювання водно-повітряного режиму, знищення бур'янів та формування якісного посівного ложа при мінімальному порушенні ґрунтової структури.[1,2]

Глибина поверхневого обробітку, як правило, становить **2–12 см**, що дозволяє зменшити енергетичні витрати та забезпечити збереження вологи у ґрунті. У сучасному землеробстві поверхневий обробіток розглядається як елемент систем:[2,3]

- мінімального обробітку ґрунту (Mini-Till);
- ґрунтозахисного мульчувального обробітку;
- смугового обробітку (Strip-Till);
- комбінованих технологій підготовки ґрунту.

1.2. Агрофізичні процеси, що відбуваються при поверхневому обробітку ґрунту

Під час виконання поверхневого обробітку ґрунту відбувається комплекс фізико-механічних процесів, які визначають кінцеву якість агрофону.

Механічне руйнування структури ґрунту. Руйнування ґрунтових агрегатів здійснюється під дією зсувних, стискальних та ударних навантажень робочих органів машин. Основним параметром, що визначає енергоємність процесу, є міцність ґрунту на зсув. [2,3]

Формування гранулометричного складу. Якість обробітку оцінюється за вмістом агрономічно цінних агрегатів розміром 0,25–10 мм. Надмірне подрібнення призводить до утворення пилюватої фракції, що негативно впливає на структуру ґрунту.

Вологорегулювальні процеси. Поверхневий обробіток сприяє зменшенню капілярного підйому вологи, формуванню мульчувального шару та зниженню випаровування води на 15...30 %.[4,5]

Біологічна активність ґрунту. Покращення аерації сприяє активізації мікробіологічних процесів та прискоренню мінералізації органічної речовини.

1.3. Сучасні технології поверхневого обробітку ґрунту

1.3.1. Мінімальний обробіток ґрунту (Mini-Till)

Мінімальний обробіток ґрунту (Mini-Till) є сучасною ресурсозберігаючою технологією, що передбачає зменшення інтенсивності механічного впливу на ґрунт при його підготовці до сівби. Основна концепція Mini-Till полягає у виконанні лише необхідного мінімуму операцій, які забезпечують формування посівного ложа, збереження ґрунтової структури та оптимальних умов для проростання насіння сільськогосподарських культур. [6]

На відміну від традиційної оранки, при якій відбувається суцільне перевертання орного шару, технологія Mini-Till передбачає відмову від глибокого полицевого обробітку або його заміну на поверхневі та комбіновані операції. Найчастіше застосовуються такі прийоми, як дискування, культивація, мульчування рослинних решток та локальний обробіток смугами. [5]

Агротехнологічна сутність Mini-Till. Основною метою мінімального обробітку є збереження природної структури ґрунту та зменшення деградаційних процесів, зокрема ущільнення, ерозії та втрати гумусу. Залишення частини рослинних решток на поверхні поля сприяє: [5,6]

- зменшенню випаровування вологи;

- покращенню водного режиму ґрунту;
- підвищенню біологічної активності;
- зниженню ризику водної та вітрової ерозії.

Крім того, Mini-Till дозволяє зменшити кількість проходів техніки по полю, що позитивно впливає на збереження структури орного шару.

Технічні засоби для реалізації Mini-Till. Для виконання технологічних операцій у системі мінімального обробітку ґрунту застосовують широкий спектр машин та знарядь, зокрема: [6]

- дискові борони (важкі та середні) для поверхневого подрібнення і перемішування рослинних решток;
- комбіновані агрегати для передпосівної підготовки ґрунту;
- культиватори суцільного та міжрядного обробітку;
- мульчувачі для подрібнення пожнивних залишків;
- сівалки прямого висіву або універсальні сівалки для роботи по мінімально обробленому ґрунту.

Сучасні комбіновані агрегати дозволяють виконувати декілька операцій за один прохід, що є ключовою перевагою Mini-Till у порівнянні з традиційними системами.

Переваги та недоліки технології Mini-Till

До основних переваг мінімального обробітку ґрунту належать:

- зниження витрат пального та енергоресурсів;
- скорочення строків підготовки ґрунту до сівби;
- зменшення зношування машинно-тракторного парку;
- підвищення продуктивності польових робіт;
- покращення агрофізичних властивостей ґрунту в довгостроковій перспективі.

Водночас технологія має і певні обмеження:

- підвищені вимоги до системи захисту рослин (бур'яни, шкідники, хвороби);
- можливе нерівномірне розкладання рослинних решток;
- необхідність застосування більш потужних або універсальних агрегатів;
- залежність ефективності від ґрунтово-кліматичних умов.

На рис. 1.1. наведена блок схема мінімального обробітку ґрунту[9,10]



Рис. 1.1. Блок схема мінімального обробітку ґрунту

Таким чином, Mini-Till є ефективною альтернативою традиційному обробітку ґрунту, яка забезпечує баланс між продуктивністю агровиробництва та збереженням родючості ґрунтів. Його впровадження особливо актуальне в умовах підвищення вартості енергоносіїв та необхідності екологізації сільськогосподарського виробництва.

1.4. Мульчувальний обробіток ґрунту

Мульчувальний обробіток ґрунту (рис. 1.2.) — це система поверхневого або мінімального обробітку, яка передбачає подрібнення та рівномірне розподілення рослинних решток по поверхні поля або їх часткове заробляння у верхній шар ґрунту з метою створення захисного мульчувального шару. [8]

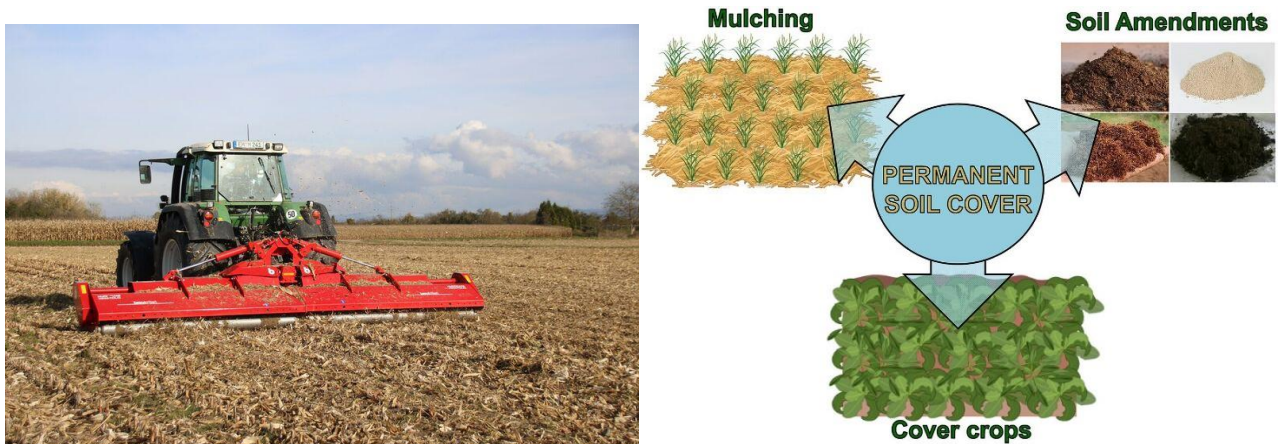


Рис. 1.2. Технологічний процес мульчування поверхні [11]

Основна особливість технології полягає у формуванні на поверхні ґрунту шару органічних решток (мульчі), який виконує як агротехнічні, так і екологічні функції. Такий підхід широко застосовується в системах ресурсозберігаючого землеробства, зокрема Mini-Till та No-Till. [11]

Мульчувальний шар виконує низку важливих функцій:

- зменшує випаровування ґрунтової вологи;
- знижує ризик водної та вітрової ерозії;
- стабілізує температурний режим ґрунту;
- покращує умови для розвитку ґрунтової мікрофлори;
- сприяє поступовому накопиченню органічної речовини.

Завдяки цьому підвищується агрофізична стабільність орного шару та поліпшується водно-повітряний режим. . [11]

До основних операцій мульчувального обробітку належать:

- подрібнення пожнивних решток (мульчування);
- рівномірний розподіл подрібненої маси по поверхні поля;
- поверхневе дискування або легка культивація (за потреби);
- часткове перемішування мульчі з верхнім шаром ґрунту;
- підготовка посівного ложа під наступну культуру.

Для виконання цих операцій використовують мульчувачі, роторні подрібнювачі, дискові борони та комбіновані агрегати. [11]

Переваги:

- збереження вологи в ґрунті;
- зменшення ерозійних процесів;
- підвищення вмісту органічної речовини;
- зниження потреби в інтенсивному обробітку;
- покращення біологічної активності ґрунту.

Недоліки:

- можливе уповільнення прогрівання ґрунту навесні;
- ризик накопичення шкідників і збудників хвороб у рослинних рештках;
- потреба у якісному подрібненні пожнивних залишків;
- підвищені вимоги до техніки для рівномірного мульчування.

Мульчувальний обробіток ґрунту є ефективним елементом сучасних ресурсозберігаючих технологій землеробства, що дозволяє поєднувати агротехнічну ефективність із екологічною сталістю. Його застосування сприяє стабілізації родючості ґрунтів і зниженню енергетичних витрат у рослинництві.

1.5. Технічні засоби для поверхневого обробітку ґрунту

1.5.1. Дискові знаряддя

Дискові знаряддя (рис. 1.3.) є одними з найпоширеніших технічних засобів для поверхневого обробітку ґрунту, що використовуються в системах мінімального та традиційного землеробства. Їх основне призначення полягає в подрібненні рослинних решток, розпушуванні верхнього шару ґрунту, частковому перемішуванні ґрунтового шару з органічною масою, а також вирівнюванні поверхні поля.[3,4]



Рис. 1.3. Дискові комбіновані знаряддя

Дискові знаряддя поділяються за конструктивними та технологічними ознаками на: [3,4]

- **Легкі дискові борони** — призначені для поверхневого луцення стерні та закриття вологи;
- **Середні дискові борони** — застосовуються для передпосівного обробітку та подрібнення пожнивних решток;

- **Важкі дискові борони** — забезпечують інтенсивне перемішування ґрунту та подрібнення рослинних залишків;
- **Агрегати з індивідуальним підвішуванням дисків (офсетні)** — підвищують якість копіювання рельєфу поля;
- **Тандемні дискові борони** — мають два ряди дисків, що працюють під різними кутами атаки.

Основними елементами дискових знарядь є: [3,4]

- дискові робочі органи (гладкі або вирізні диски діаметром 450–800 мм);
- рама (жорстка або шарнірна конструкція);
- підшипникові вузли з індивідуальним або груповим кріпленням;
- регулювальні механізми кута атаки дисків;
- прикочувальні котки (в окремих моделях).

Кут атаки дисків зазвичай становить **15...25°**, що дозволяє забезпечити ефективне підрізання ґрунту та рослинних решток. [3,4]

Нижче наведено узагальнену порівняльну характеристику сучасних дискових борін і дискаторів провідних виробників: **Bellota, Lemken, Amazone, John Deere** (табл.1.1.). Порівняння виконано за основними техніко-експлуатаційними параметрами, що є актуальними для систем поверхневого та мінімального обробітку ґрунту.

Таблиця 1.1.

Порівняльна таблиця дискових знарядь провідних виробників

Параметр	Bellota (Іспанія)	Lemken (Німеччина)	Amazone (Німеччина)	John Deere (США)
Тип агрегатів	Дискові і робочі органи,	Дискові борони та дискатори	Дискові агрегати (Catros, Certos)	Дискові борони та важкі

	борони, запчастини	(Rubin, Heliodor)		дискатори (630, 260, 2680H)
Призна чення	Компо ненти для дискових систем	Лущенн я стерні, інтенсивний дисковий обробіток	Швидкісний поверхневий обробіток, стерньові роботи	Важк ий дисковий обробіток, робота з пожнивни ми рештками
Діаметр дисків	460– 620 мм (залежно від серії)	520–610 мм	460–610 мм	510– 760 мм
Кут атаки	15–25° (залежить від системи)	Регульо ваний до 17– 22°	17–30° (гідравлічне регулювання)	16– 22°
Робоча глибина	5–15 см	5–20 см	5–14 см (Catros), до 20 см (Certos)	5–18 см
Робоча швидкість	8–12 км/год	10–15 км/год	12–18 км/год	10– 16 км/год
Маса конструкції	Легка– середня	Середня –важка	Легка– середня	Важк а
Особли вості конструкції	Висока якість сталі, зносостійкіст ь	Система індивідуально го підвішування дисків, точне копіювання рельєфу	Високошви дкісний обробіток, низький опір тяги	Міцн а рама, висока продуктив ність у важких умовах
Переваг и	Надійн і робочі органи, доступність	Висока якість обробітку, універсальніс ть	Висока швидкість роботи, економічність	Робо та в складних умовах, велика глибина

и	Недолік	Обмеж ена функціональ ність як системного агрегату	Висока вартість	Чутливість до вологості грунту	Висо ка енергоємні сть
	Рівень інтенсивності обробітку	Середн ій	Високи й	Середній– високий	Висо кий

Культиватори для поверхневого обробітку є універсальними агрегатами для передпосівної та стерньової обробки. [3,4, 11]

Робочі органи: стрічасті лапи; долота (chisel); пружинні стійки.

Переваги: низька енергоємність процесу; якісне розпушення без обороту пласта; можливість роботи в різних ґрунтових умовах.

Коткові системи використовуються для ущільнення та вирівнювання поверхні ґрунту. **Основні типи:** кільчасто-шпорові котки; гладкі котки; комбіновані системи.

Комбіновані агрегати: сучасні машини, що забезпечують виконання кількох операцій за один прохід.

Переваги: зменшення кількості проходів техніки; зниження ущільнення ґрунту; економія пального до 30...50 %.

1.5.2. Ґрунтозахисний мульчувальний обробіток ґрунту

Ґрунтозахисний мульчувальний обробіток ґрунту (рис. 1.4.) є сучасним напрямом системи мінімального землеробства, що передбачає обробіток ґрунту з обов'язковим збереженням на його поверхні рослинних решток у вигляді мульчі. Такий підхід спрямований на зменшення ерозійних процесів, збереження вологи, покращення біологічної активності ґрунту та підвищення його родючості. [1,3]



Рис. 1.4. Ґрунтозахисний мульчувальний обробіток ґрунту

Мульчувальний обробіток полягає у частковому або поверхневому розпушуванні ґрунту з одночасним або попереднім подрібненням та рівномірним розподілом рослинних решток по поверхні поля. Мульча виконує роль захисного шару, який: зменшує випаровування вологи; захищає ґрунт від водної та вітрової ерозії; знижує температурні коливання у верхньому шарі; сприяє накопиченню органічної речовини (рис. 1.5). [1,3]

До ґрунтозахисного мульчувального обробітку належать: подрібнення та рівномірний розподіл пожнивних решток; поверхнєве луцення стерні (дисковими знаряддями); щільовання або смуговий обробіток (Strip-Till); мінімальний передпосівний обробіток ґрунту; сівба у мульчований фон без обороту пласта (No-Till). [1,3]

Для виконання мульчувального обробітку застосовують: дискові борони та дискатори (для подрібнення рослинних решток); мульчувачі та подрібнювачі

рослинності; культиватори з лапами для поверхневого розпушування; комбіновані агрегати Mini-Till та Strip-Till; сівалки прямого висіву. [1,3]



Рис. 1.5. Технологічна схема процесу мульчування ротаційними машинами

Агротехнічними перевагами є ефективний захист ґрунту від ерозії; підвищення вологонакопичення; покращення структури ґрунту; зменшення кількості проходів техніки по полю; економія пального та зниження витрат на обробіток; активізація ґрунтової мікрофлори. [1,3]

Недоліки

- потреба у спеціалізованій техніці;
- можливе накопичення шкідників і хвороб у рослинних рештках;
- складність контролю бур'янів без гербіцидів;
- залежність ефективності від типу ґрунту та кліматичних умов.

Ґрунтозахисний мульчувальний обробіток є ключовим елементом систем точного та ресурсозберігаючого землеробства. Його впровадження дозволяє

стабілізувати родючість ґрунтів, зменшити деградаційні процеси та підвищити стійкість агроєкосистем до кліматичних змін.

Висновки до розділу 1

У результаті проведеного аналізу сучасних технологій поверхневого обробітку ґрунту та технічних засобів для їх реалізації встановлено, що даний напрям є ключовим елементом ресурсозберігаючих і ґрунтозахисних систем землеробства. Поверхневий обробіток ґрунту виконує важливі агротехнічні функції: регулювання водно-повітряного режиму, збереження вологи, знищення бур'янів та формування якісного посівного ложа при мінімальному руйнуванні ґрунтової структури.

Основними сучасними технологіями поверхневого обробітку є мінімальний (Mini-Till), мульчувальний, смуговий (Strip-Till) та комбінований обробіток. Їх застосування дозволяє знизити енерговитрати, підвищити ефективність використання вологи та зменшити негативний вплив на ґрунтовий покрив.

Встановлено, що найбільш перспективними є технології, які забезпечують мінімальне порушення ґрунтового профілю та збереження рослинних решток на поверхні поля, що сприяє зменшенню ерозійних процесів і підвищенню родючості ґрунтів.

Аналіз технічних засобів показав, що сучасні ґрунтообробні машини (дискові знаряддя, культиватори, роторно-ножеві, котки та комбіновані агрегати) розвиваються у напрямку підвищення універсальності, енергоефективності та здатності виконувати кілька технологічних операцій за один прохід.

Визначено, що застосування комбінованих агрегатів та систем точного землеробства є перспективним напрямом розвитку техніки для поверхневого обробітку ґрунту, оскільки дозволяє зменшити витрати пального, підвищити продуктивність та знизити ущільнення ґрунту.

2. МОДЕРНІЗАЦІЯ І ПРОЄКТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ГРУНТОЗАХИСНОГО МУЛЬЧУВАЛЬНОГО ОБРОБІТКУ

2.1 Огляд конструкцій мульчувачів рослинних решток

Мульчування рослинних решток є важливою технологічною операцією у сучасному землеробстві, яка сприяє збереженню вологи, поліпшенню структури ґрунту та зниженню ерозійних процесів. Використання спеціалізованих машин для подрібнення і розподілу рослинних залишків на полях дозволяє значно підвищити ефективність обробітку ґрунту та створює сприятливі умови для наступного посіву сільськогосподарських культур.[12]

Проектування мульчувача рослинних решток, який поєднує високу продуктивність, надійність і адаптивність до різних видів культур, є актуальним завданням сучасної агротехніки. Оптимальні параметри конструкції машини безпосередньо впливають на якість подрібнення, витрати енергії та ефективність роботи агроформувань.

Актуальність розробки та вдосконалення мульчувачів обумовлена декількома ключовими факторами:

Підвищення ефективності використання сільськогосподарських ресурсів. Подрібнення рослинних решток забезпечує швидке розкладання органічної маси, що збагачує ґрунт поживними речовинами і зменшує потребу у додаткових добривах.

Сучасні вимоги до інтенсифікації технологічних процесів. Використання універсальних і високопродуктивних мульчувачів дозволяє скоротити тривалість операцій обробітку ґрунту та знизити енергетичні витрати.[13]

Екологічна безпека та збереження ґрунтового покриву. Мульчування зменшує ерозію, запобігає втратам вологи та покращує біологічну активність ґрунту.

Актуальність для сучасного сільського господарства України. Інтеграція ефективних мульчувачів у технологічні ланцюги забезпечує підвищення врожайності та конкурентоспроможності аграрного виробництва.[14]

Таким чином, розробка мульчувача з оптимізованими конструкційними параметрами має практичну цінність і наукову значущість, оскільки сприяє підвищенню продуктивності агротехнічних процесів, зменшенню втрат ресурсів і покращенню екологічного стану ґрунтів.

Запропонована конструкція мульчувача призначена для механічного подрібнення решток рослин різних сільськогосподарських культур (рис. 2.1)

Рама мульчувача виконана з брусів і боковин, які з'єднані зварними швами, що забезпечує необхідну жорсткість конструкції. Для підтримання заданої висоти зрізу машина оснащена двома опорними колесами, одне з яких додатково виконує функцію транспортного. З метою запобігання вильоту сторонніх предметів з-під ножів на рамі встановлено захисні ланцюги.

Робочим органом мульчувача є ротор, обладнаний Y-подібними ножами, які закріплені шарнірно. Ротор встановлено в боковинах рами на підшипникових опорах; рекомендується застосовувати самоцентруючі підшипники для підвищення надійності конструкції.

Привід ротора здійснюється від ВВП трактора через трансмісію, що складається з конічного редуктора, карданної та пасової передачі. Для запобігання поломкам елементів трансмісії під час зупинки ротора привід оснащено обгінною муфтою. Проектна частота обертання ротора становить 2000 об/хв. Регулювання висоти зрізу здійснюється зміною положення опорних коліс відносно рами.

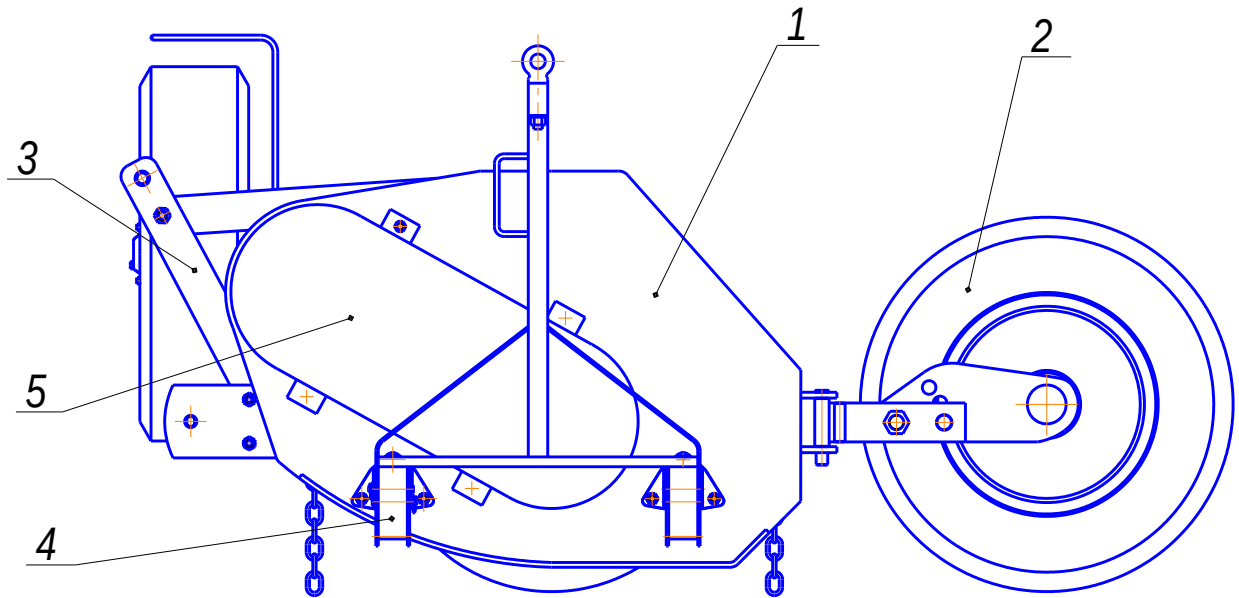


Рис. 2.1. Загальний вигляд запропонованого мульчувача

1 – рама; 2 – колісний хід; 3 – навіска; 4- причіпний пристрій; 5 – трансмісія.

Переведення мульчувача в транспортне положення виконується шляхом відповідних механічних операцій: опускання та обертання транспортного колеса, висування опорної стійки, переведення причіпного пристрою в горизонтальне положення, опускання мульчувача на поверхню та від'єднання від навіски трактора, після чого причіпний гак трактора з'єднується з транспортним причіпним пристроєм.

Під час технологічного процесу роботи мульчувача ротор обертається, відцентрова сила відкидає ножі, які зрізують і подрібнюють рослинні рештки, рівномірно розподіляючи їх по поверхні поля. Після проходження машини на полі формується шар мульчованої соломи, що відповідає вимогам ґрунтозахисних технологій.

Рама мульчувача: Матеріал: сталь високої міцності (сталь 09Г2С або аналог). Габаритні розміри: довжина – 1800 мм, ширина – 1200 мм, висота – 800 мм. Ширина захвату робочого органа: 1,2 м. Опорні та транспортні колеса діаметр коліс: 400 мм.

Регулювання висоти зрізу: у діапазоні 50...150 мм шляхом зміни положення коліс відносно рами. Одне колесо додатково виконує роль транспортного при переведенні мульчувача в транспортне положення. Робочий орган (ротор). Діаметр ротора- 300 мм. довжина ротора (захват по ширині): 1200 мм. Кількість ножів: 12–16 шт., Y-подібні, шарнірно закріплені. Матеріал ножів: Сталь 65Г або аналог. Частота обертання ротора: 2000 об/хв. Привід ротора - ВВП трактора потужністю 20–30 к.с.

Трансмсія: конічний редуктор + карданна передача + пасова передача.

Захист: обгінна муфта для запобігання поломкам при раптовій зупинці ротора.

Технологічний процес роботи. Рух по полю: 3–5 км/год (оптимальна швидкість для якісного подрібнення). Робочий шар мульчі після обробки: 30...50 мм (залежно від типу рослинних решток). Висота зрізу: 50...150 мм (регулюється опорними колесами).

Наведено узагальнене порівняння роторних мульчувачів і подрібнювачів рослинних решток таких виробників, як **Maschio, Kuhn, John Deere, Orsi**, які широко застосовуються у ґрунтозахисних та ресурсозберігаючих технологіях землеробства, табл. 2.1. мульчувачів провідних виробників.

Таблиця 2.1.

Порівняльна таблиця мульчувачів провідних виробників

Параметр	Maschio (Італія)	Kuhn (Франція)	John Deere (США)	Orsi (Італія)
Тип машин	Роторні мульчувачі,	Косарки- мульчувачі,	Важкі мульчувачі	Мульчувачі для важких

	подрібнювачі серії Berti/Maschio	роторні подрібнювачі	для пожнивних решток	умов і чагарників
Призначення	Подрібнення стерні, трави, пожнивних решток	Косіння та мульчування зеленої маси	Інтенсивне подрібнення кукурудзи, соняшнику	Робота з грубими рештками, чагарниками
Робоча ширина	1,2 – 6,0 м	1,2 – 5,7 м	2,4 – 7,0 м	1,0 – 3,5 м
Тип робочих органів	Молотки або У-подібні ножі	Ножі + роторні системи	Посилені молотки важкого типу	Посилені молотки (heavy-duty)
Робоча швидкість	6 – 12 км/год	8 – 12 км/год	6 – 10 км/год	5 – 10 км/год
Діаметр ротора	Середній (120– 200 мм)	Середній	Збільшений (до 250 мм)	Малий– середній
Призначена потужність трактора	30 – 200 к.с.	40 – 180 к.с.	100 – 300 к.с.	25 – 120 к.с.
Особливості і конструкції	Універсальність, простота обслуговування	Висока якість різання, рівномірність мульчі	Підвищена міцність для важких умов	Компактність і стійкість до навантажень
Переваги	Економічність, широкий вибір моделей	Якісне подрібнення зеленої маси	Висока продуктивність, довговічність	Надійність у складних умовах
Недоліки	Середня продуктивність у важких умовах	Вища вартість	Висока енергоємність	Обмежена ширина захвату
Рівень інтенсивності роботи	Середній– високий	Високий	Дуже високий	Середній

Аналіз показує, що найбільш універсальними для систем Mini-Till є мульчувачі **Maschio та Kuhn**, які забезпечують якісне подрібнення при помірних

енергетичних витратах. **John Deere** ефективні у важких умовах та при великій кількості грубих решток, тоді як **Orsi** доцільно застосовувати для локальних робіт і обробки складних ділянок із чагарниковою рослинністю.

2.2 Обґрунтування конструкції мульчувача рослинних решток

Розроблюваний мульчувач зображений на (рис. 2.2.) призначений для ефективного подрібнення рослинних решток більшості сільськогосподарських культур. Конструкція забезпечує якісну обробку післяжнивних залишків із метою їх рівномірного розподілу по поверхні поля та підготовки до подальших технологічних операцій.

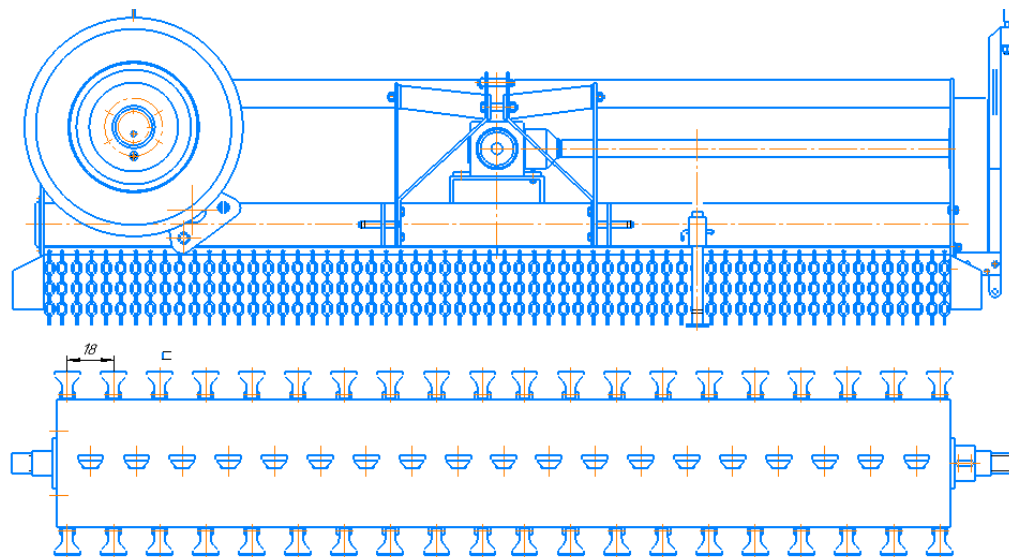


Рис. 2.2. Розроблений модернізований мульчувач

Рама мульчувача виконана з поздовжніх брусів і боковин, з'єднаних між собою зварними швами, що забезпечує необхідну жорсткість та міцність конструкції. З метою дотримання заданої глибини обробітку агрегат оснащено двома опорними колесами, одне з яких додатково виконує функцію

транспортного. З метою запобігання вильоту сторонніх предметів із робочої зони на рамі встановлено захисні засоби у вигляді ланцюгів.

Робочим органом є ротор мульчувача, обладнаний Y-подібними ножами, що закріплені шарнірно. Ротор встановлено в боковинах рами на підшипникових опорах, при цьому доцільно застосування самоустановних підшипників, які забезпечують компенсацію можливих перекосів.

Привід ротора здійснюється від валу відбору потужності (ВВП) трактора через трансмісію, що включає конічний редуктор, карданну та пасову передачі. Для захисту елементів трансмісії від динамічних навантажень у момент зупинки ротора в конструкції приводу передбачено встановлення обгінної муфти. Розрахункова частота обертання ротора становить 2000 об/хв. Регулювання висоти зрізу виконується шляхом зміни положення опорних коліс відносно рами.

Переведення мульчувача у транспортне положення здійснюється шляхом трансформації опорного колеса та відповідних елементів конструкції. При цьому виконуються такі операції: опускання транспортного колеса, його поворот і фіксація, переведення опорного колеса, висування опорної стійки, встановлення причіпного пристрою, розташованого на лівій боковині, у горизонтальне положення, опускання агрегату на поверхню поля, від'єднання від навіски трактора та з'єднання причіпного гака трактора з транспортним причіпним пристроєм.

Технологічний процес роботи мульчувача відбувається наступним чином. Під час руху агрегату по полю ротор обертається, а під дією відцентрових сил ножі займають робоче положення, здійснюючи зрізання та подрібнення рослинних решток. Подрібнена маса рівномірно розподіляється по поверхні поля. У результаті проходження машинно-тракторного агрегату формується мульчований шар рослинних решток, що відповідає вимогам ґрунтозахисних технологій.

2.3 Розрахунок різбових спряжень та кріплень

Виконуємо розрахунок болтових з'єднань, які забезпечують кріплення корпусів підшипникових опор до рами мульчувача, оскільки саме ці елементи конструкції зазнають найбільших навантажень у процесі експлуатації. Як елементи кріплення приймаємо болти типорозміру M20, які встановлюються в отвори з перехідною посадкою (рис. 2.3) [15].

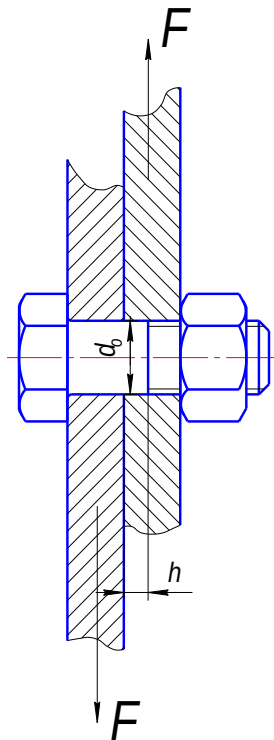


Рис. 2.3. Розрахункова схема навантажень на різбове з'єднання

Розглядуване болтове з'єднання сприймає дію поперечної сили, внаслідок чого його елементи працюють переважно на зріз та зминання. Тому під час розрахунку необхідно виконати перевірку міцності болта за відповідними критеріями. Умова забезпечення міцності болта на зріз визначається залежністю:[15]

$$\tau_c = F / (\pi d_0^2 / 4) \leq [\tau_c]; \quad (2.1)$$

де, τ_c - теоретичне напруження зрізу;

F – поперечна сила, яка діє на болт. $F=1800$ Н;

d_0 – діаметр болта;

$[\tau_c]$ - допустимі напруження на зріз матеріалу болта.

Допустимі напруження на зріз тіла болта встановимо наступним чином:

[15]

$$[\tau_c] = (0,2 \dots 0,3) \sigma_T; \quad (2.2)$$

де, $[\tau_c]$ - напруження текучості матеріалу. Ст3 $[\tau_c] = 220$ МПа. [19]

$$[\tau_c] = 0,3 \cdot 220 = 66 \text{ МПа}$$

$$\tau_c = 1850 / (3,14 \cdot 18^2 / 4) = 7,3$$

Оскільки $7,33 < 66,1$, то умова міцності достатня.

Визначимо міцність на згинальні навантаження болта за формулою:

[18]

$$\sigma_{cm} = (F / d_0 h) \leq [\sigma_{cm}]; \quad (2.3)$$

де, σ_{cm} - теоретичне напруження зминання матеріалу болта;

h – плече згинальної частини тіла болта;

$[\sigma_{cm}]$ - допустимі напруження згину болтового з'єднання.

Допустимі напруження зминання для з'єднань, що використовуються для кріплення сталевих деталей, визначають відповідно до розрахункових залежностей опору матеріалу та умов роботи з'єднання. Розрахунок допустимого напруження зминання становлять: [18]

$$[\sigma_{cm}] = 0,8 \sigma_T; \quad (2.4)$$

$$[\sigma_{cm}] = 0,8 \cdot 220 = 176,0 \text{ МПа.}$$

Величину значення $[\sigma_{cm}]$ визначимо за (2.3)

$$\sigma_{cm} = 1850 / (18 \cdot 15) = 6,9 \text{ МПа.}$$

Оскільки $6,9 < 176,0$ то, умова міцності достатня.

Отримані значення напружень не перевищують допустимих значень, умови міцності болтового з'єднання виконуються. Таким чином, прийнятий діаметр болта **d = 18 мм** забезпечує необхідну несучу здатність з'єднання та відповідає вимогам надійної й безпечної експлуатації мульчувача за розрахункових режимів навантаження.

2.4 Розрахунок режимів нанесення зварних швів

Для оцінки міцності конструкції виконаємо розрахунок зварного шва, який є найбільш навантаженим. Даний шов являє собою таврове зварне з'єднання.

Товщина стінки труби становить $\delta = 5$ мм. На з'єднання діють крутний момент $T = 104 \text{ Н}\cdot\text{м}$ та згинальний момент $M = 7 \cdot 10^3 \text{ Н}\cdot\text{м}$. Матеріалом труби прийнято сталь Ст3Г2С. Зварювання передбачається виконувати ручним дуговим способом із застосуванням електродів марки Е42. Допустиме розрахункове напруження для зварного з'єднання становить $[\tau] = 157 \text{ МПа}$ [17].

На першому етапі визначаємо дотичні напруження в зварному шві, що виникають під дією крутного моменту T , за формулою (2.5): [18].

$$\tau_T = 2 \cdot T / (0,7\pi \cdot d^2); \quad (2.5)$$

$$\tau_T = 2 \cdot T / (0,7\pi \cdot d^2); \quad (2.6)$$

$$\tau_T = 2 \cdot 10^7 / (0,7\pi \cdot 150^2) = 4,65 \cdot 10^2 / \kappa$$

Розрахуємо напруження, які виникають від згинального моменту: [18].

$$\tau_M = 4 \cdot M / (0,7\pi \cdot d^2); \quad (2.7)$$

$$\tau_M = 4 \cdot 7 \cdot 10^6 / (0,7\pi \cdot 150^2) = 6,5 \cdot 10^2 / \kappa$$

Сумарне напруження складає: [18].

$$\tau = \sqrt{\tau_T^2 + \tau_M^2} \leq [\tau']; \quad (2.8)$$

$$\tau = (10^2 / \kappa) \sqrt{4,65^2 + 6,5^2} \cdot 10^2 / \kappa \leq [\tau'] = 94 \text{ МПа}$$

Визначимо висоту катета зварного шва, який становить $\kappa = 8,52$ мм.

2.5. Визначення параметрів приводу модернізованого мульчувача

Для обґрунтування параметрів приводу мульчувача визначимо потужність, необхідну для забезпечення його ефективної роботи. Розрахунок виконуємо на основі питомої потужності машин-аналогів, яка в середньому становить **20 кВт/м ширини захвату**. За робочої ширини мульчувача **3,5 м** необхідна потужність приводу становитиме:

$$N = 64,6 \text{ кВт.}$$

Отримане значення потужності використовується для подальшого розрахунку елементів трансмісії та вибору складових приводу.

Запропонована схема приводу включає конічний редуктор з передаточним відношенням $i = 1,0$, карданну передачу та двоступінчастий циліндричний редуктор з передаточним відношенням $i = 0,50$. Джерелом енергії є вал відбору потужності трактора з частотою обертання $n = 1000 \text{ хв}^{-1}$.

Для визначення навантаження на елементи трансмісії розраховуємо крутний момент, що передається конічним редуктором. Значення крутного моменту визначається за залежністю [15]:

$$T = \frac{9,55P}{n}; \quad (2.9)$$

де, P – потужність, що передається на редуктор, кВт;

n - частота обертання ведучого вала редуктора, об^{-1} .

$$T = \frac{9,55 \cdot 64,3 \cdot 10^3}{100} = 614 \text{ Н·м.}$$

На підставі отриманих результатів розрахунку для передачі крутного моменту приймаємо конічний редуктор **КЦ2У-200** з передаточним відношенням $i = 1,0$ та масою 85 кг, технічні характеристики якого забезпечують надійну роботу приводу за розрахункових навантажень.

Для передавання обертового руху від редуктора до вала ротора передбачено використання пасової передачі з передаточним відношенням $i = 2$. Застосування пасової передачі дозволяє знизити динамічні навантаження в приводі, забезпечити плавність роботи ротора та підвищити надійність трансмісії в цілому.

З метою визначення основних геометричних параметрів передачі виконуємо її попередній розрахунок. Одним із початкових етапів є визначення мінімально допустимої міжосьової відстані між ведучим і веденим шківом, яка розраховується за відповідною залежністю:[15]

$$L_{\min} = (d_{p\delta} + d_{p\mu}) \cdot 0,55 + n; \quad (2.10)$$

де, $d_{p\mu}$ - діаметр першого шківа, мм.

$d_{p\delta}$ - діаметр другого шківа, мм

h - висота ременя, $h=10$

$$L_{\min} = 0,55(205+105) + 10 = 180,5 \text{ мм.}$$

$$L_{\max} = 2(d_{p\delta} + d_{p\mu}); \quad (2.11)$$

$$L_{\max} = 2(205+105) = 620 \text{ мм.}$$

Згідно конструктивних параметрів приймемо відстань $L=625,2$ мм. Та визначимо довжину ремня клино-пасової передачі:

$$L_p = 2L + W + \frac{Y}{L}; \quad (2.12)$$

звідки,

$$Y = \frac{(d_{p\delta} + d_{pm})^2}{2} = \frac{(205-105)^2}{2} = 2500 \text{ мм}^2$$

$$W = \frac{(d_{p\delta} - d_{pm})}{2} \cdot \pi = \frac{(205-105)}{2} \cdot 3,14 = 147 \text{ мм.}$$

$$L_p = 2 \cdot 625 + 147 + \frac{2500}{625} = 1401 \text{ мм.}$$

Розрахункове значення довжини паса округлюємо до найближчого стандартного значення відповідно до вимог ДСТУ ISO 3:2001. Прийнята стандартна довжина паса становить $L_p = 1400$ мм., що забезпечує можливість застосування серійно виготовлених елементів приводу та спрощує технічне обслуговування машини.

Для захисту елементів трансмісії від перевантажень, які можуть виникати під час різкої зупинки ротора або дії інерційних навантажень, на веденому валу мульчувача передбачено встановлення роликової обгінної муфти типу **Nu-W-68(69)**. [20] Номінальний крутний момент муфти становить **680 Н·м**, а допустима частота обертання - **2120 об/хв**.

Порівняння технічних характеристик муфти з розрахунковими параметрами приводу свідчить про те, що її експлуатаційні показники повністю відповідають умовам роботи мульчувача та забезпечують надійне функціонування трансмісії. Маса муфти становить **1,8 кг** [20], що не чинить суттєвого впливу на загальні масово-габаритні характеристики конструкції.

2.6 Розрахунок та вибір параметрів ведучого вала приводу

Встановимо реакції в опорах за рівнянням моментів відносно осі [15].

$$\sum M_A = R_B \cdot l - q \cdot \frac{l}{2} - M = 0; \quad (2.13)$$

$$\sum M_B = -R_A \cdot l + q \cdot \frac{l}{2} + M = 0; \quad (2.14)$$

визначимо реакції в опорах:

$$R_B = \frac{q \cdot \frac{l}{2} + M}{l}; \quad (2.15)$$

$$R_A = \frac{q \cdot \frac{l}{2} + M}{l}; \quad (2.16)$$

Розрахуємо осьовий крутний момент [16].

$$T = \frac{9,55 \cdot N}{n}; \quad (2.17)$$

де, N - потужність, що прикладається, кВт;

n - частота обертання вісі, об/хв.

$$T = \frac{9,55 \cdot 5,2 \cdot 10^3}{190} = 261,4 \text{ Нм.}$$

$$R_B = \frac{154,2 \cdot \frac{0,7}{2} + 261,4}{0,7} = 450,5 \text{ Н} = R_A$$

Встановимо небезпечний момент інерції поперечного перерізу за максимального значення [16].

$$W_z = \frac{M_{\max}}{[\sigma]} ; \quad (2.18)$$

де, $M_{\max}$ - найбільше значення крутного моменту, Нм;

$[\sigma]$ - допустимі напруження, МПа.

$$W_z = \frac{261400}{[250 \cdot 10^6]} = 10,5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3.$$

Визначимо діаметр вісі за умови міцності.

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot W_z}{\pi}} ; \quad (2.19)$$

$$d = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot 10,5 \cdot 10^{-4}}{3.14}} = 0.0107 \text{ м}.$$

Прийmemo $d=120$ мм.

Небезпечні напруження та їхня амплітуда в поперечному перерізі становлять: [15]

$$G_a = G_{зг} = M \cdot 1000 / W_{ос}; \quad (2.20)$$

де, $W_{ос}$ – осьовий момент опору привідного валу.

Осьовий момент опору визначимо по формулі:[15]

$$W_{oc}=0.12 \cdot d^3; \quad (2.21)$$

$$W_{oc} = 0.12 \cdot 120^3 = 172812 \text{ мм}^3.$$

звідки

$$Ga = 261,402 \cdot 1000 / 172812 = 2,1 \text{ МПа}.$$

Оскільки дотичні напруження в даному елементі змінюються за нульовим циклом навантаження, амплітуда циклу напружень τ_a дорівнює половині максимального розрахункового дотичного напруження τ_k . Такий характер зміни навантаження відповідає випадку, коли напруження змінюється від нуля до свого максимального значення. Тому амплітуду дотичних напружень визначають за залежністю: [16].

$$\tau_a = \tau_k / 2 = M_k / (2 \cdot W_{пoc}); \quad (2.22)$$

де, $W_{пoc}$ – полярний момент інерції.

Для перетину у вигляді коло момент визначимо по формулі:[15]

$$W_{пoc}= 0.21 \cdot d^3; \quad (2.23)$$

$$W_{пoc} = 0.21 \cdot 120^3 = 345615 \text{ мм}^3.$$

звідки,

$$\tau_a = 47 / (2 \cdot 345615) = 0,000001 \text{ МПа.}$$

Досить низьким значенням можемо нехтувати.

Теоретичний коефіцієнт концентрації нормальних і дотичних напружень характеризує ступінь локального підвищення напружень у місцях зміни форми деталі, наявності галтелей, отворів, шпонкових пазів та інших конструктивних концентраторів. Його значення визначають шляхом порівняння максимальних напружень у зоні концентратора з номінальними напруженнями, розрахованими без урахування концентрації. [16,18]:

Дійсні коефіцієнти концентрації нормальних та дотичних напружень визначаються з урахуванням впливу геометричних розмірів деталі, стану її поверхні та наявності поверхневого зміцнення. Такий підхід дозволяє більш точно оцінити опір вала втомному руйнуванню в умовах змінних навантажень.

Дійсний коефіцієнт концентрації нормальних напружень визначається за залежністю[19]:

$$(K\sigma)_d = [K\sigma K_d + K\phi - 1] \cdot 1K_v, \quad (2.24)$$

а дійсний коефіцієнт концентрації дотичних напружень – за формулою[16,15]:

$$(K\tau)_d = [K\tau K_d + K\phi - 1] \cdot 1K_v. \quad (2.25)$$

де $K\sigma = 1,62$ та $K\tau = 1,42$ – ефективні коефіцієнти концентрації відповідно для нормальних і дотичних напружень;

$K_d = 0,67$ – коефіцієнт, що враховує вплив абсолютних розмірів поперечного перерізу деталі;

$K\phi=1,0$ – коефіцієнт впливу шорсткості поверхні вала;

$K_v=1,45$ – коефіцієнт впливу поверхневого зміцнення матеріалу вала, отриманого в результаті цементації.

Отримані значення дійсних коефіцієнтів концентрації напружень використовуються при подальшому розрахунку запасу міцності вала за критерієм втомної міцності.

$$(K_g)_d = [1.62 / .67 + 1 - 1] \cdot (1 / 1.45) = 1.67;$$

$$(K_m)_d = [1.42 / .67 + 1 - 1] \cdot (1 / 1.45) = 1.46.$$

Розрахуємо межу міцності в небезпечних перерізах привідного вала.[19]

$$(\tau_i)_d = \tau_i / (K_g)_d; \quad (2.26)$$

$$(\tau_i)_d = \tau_i / (K_T)_d; \quad (2.27)$$

де, $\tau_i = 335$

$\tau_i = 0.58 \cdot \tau_i = 194.3$ – межі міцності за однаковим циклом згинання та кручення [16,18].

$$(\tau_i) = 335 / 1.617 = 211,4 \text{ МПа};$$

$$(\tau_i)_d = 133,5 \text{ МПа}.$$

Встановимо коефіцієнт запасу міцності вала за нормальними та дотичними напруженнями.

$$k_g = (\tau_i)_d / \tau_a; \quad (2.28)$$

$$k_T = (\tau_i)_d / \tau_a; \quad (2.30)$$

$$k_g = 201,4 / 20,2 = 10,2;$$

$$k_T = 133,5 / 0 = -$$

Знехтувавши дотичними напруженнями, оскільки вони незначні, коефіцієнт запасу міцності неможливо встановити, бо на нуль ділити не можливо.

Тоді, можна зробити висновок, що виконані розрахунки доводять та свідчать про достатні міцнісні параметри привідного вала ротора мульчувача.

2.7 Розрахунок кінематичних параметрів

Робочі оберти барабана мульчувача складають 540 об/хв. Встановимо коефіцієнт кінематичного режиму роботи ротора, який визначається відношенням величини колової швидкості руху ножа до поступальної швидкості агрегату, що становит згідно АТВ 11 км/год або 2,8 м/с. Колову швидкість визначимо по формулі:[14]

$$v = \omega R; \quad (2.31)$$

де, ω - кутова швидкість руху ножів, рад/с;

R - радіус ротора, м.

Радіус ротора обираємо згідно конструкційних параметрів, що становить $d=360$ мм.

Кутова швидкість становить згідно:[16]

$$\omega = \frac{\pi n}{30}; \quad (2.32)$$

$$\omega = \frac{3.14 \cdot 500}{30} = 52.33 \text{ рад/с.}$$

Звідки колова швидкість ножа буде мати значення:

$$v = 52.33 \cdot 0.36 = 18.8 \text{ м/с.}$$

Визначимо кінематичний режим роботи ротора мульчувача:

$$\lambda = \frac{v}{V}; \quad (2.33)$$

$$\lambda = \frac{18.8}{10} = 1.9.$$

Розрахуємо шлях, який пройде мульчувач за один оберт ротора:

$$S = \frac{2\pi R}{\lambda}; \quad (2.34)$$

$$S = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 0.36}{1.9} = 1.19 \text{ м.}$$

Конструкцію і тип ножа ротора прийняли згідно розрахунків Y-подібні. Розташування ножів на циліндричній поверхні ротора необхідно розташовувати згідно розгортки гвинтової лінії з кроком t . Визначимо крок лінії по формулі:[4]

$$t_1 = aM ; \quad (2.35)$$

де, a - проекція між ножами. Прийmemo рівну ширині Y-подібного ножа;

M - кількість рядів ножів.

$$t_1 = 0,1 \cdot 4 = 0,4 \text{ м.}$$

Відстань між прокціями гвинтових ліній встановимо по формулі:[4]

$$b = \frac{Ma}{K} ; \quad (2.36)$$

де, K – кількість заходів основного гвинта.

$$b = \frac{4 \cdot 0,1}{2} = 0,2 \text{ м.}$$

Висновки по розділу 2.

За результатами виконаних конструктивних та розрахункових досліджень встановлено, що спроектований мульчувач обладнаний роторним робочим органом із горизонтальною віссю обертання та характеризується показником кінематичного режиму роботи $\lambda = 1,9$, що забезпечує ефективне подрібнення і рівномірний розподіл рослинних решток по поверхні поля.

Запропонована конструкція дає можливість агрегатувати мульчувач із серійним трактором John Deere 6155M, що сприяє його впровадженню у виробничих умовах без необхідності застосування спеціалізованих енергетичних засобів. Раціонально обрана схема розміщення ножів на роторі забезпечує повне

використання кінематичних параметрів робочого органу, підвищує якість подрібнення рослинних решток та дозволяє працювати на підвищених робочих швидкостях.

У результаті цього досягається збільшення продуктивності машинно-тракторного агрегату, зниження питомих витрат часу на виконання технологічної операції та підвищення ефективності використання енергетичних ресурсів. Виконані розрахунки на міцність основних елементів конструкції, зокрема вала ротора, болтових і зварних з'єднань, а також елементів приводу, підтвердили їхню відповідність умовам експлуатації та необхідний запас міцності. Це свідчить про працездатність, надійність і довговічність запропонованої конструкції мульчувача за розрахункових режимів роботи.

3. РОЗРАХУНОК ОПЕРАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ МТА

3.1 Тягово-силовий розрахунок машинного агрегату

Запропонований машинно-тракторний агрегат призначений для виконання поверхневого обробітку ґрунту шляхом мульчування стерні та подрібнення післяжнивних рослинних решток. Як енергетичний засіб попередньо приймаємо трактор John Deere 6155M, технічні характеристики якого відповідають вимогам щодо агрегатування із розробленим мульчувачем та забезпечують необхідний запас потужності для виконання технологічного процесу.

Для оцінки ефективності роботи агрегату необхідно визначити баланс потужності трактора та встановити відповідність між енергетичними можливостями трактора і потребами робочої машини. При цьому частина потужності двигуна витрачається на переміщення мульчувача, подолання опору коченню трактора та виконання технологічного процесу подрібнення рослинних решток.

Потужність, яка витрачається на переміщення робочої машини та самого трактора під час виконання технологічної операції, визначається по формулі [21]:

$$N_{e.m.} = \frac{[R_M + G(f + i)]v_p}{3,6 \cdot \eta_{m2} \eta_\delta}; \quad (3.1)$$

де, R_M - тяговий опір с/г мульчувача, кН;

G – вага трактора, кН;

f - коефіцієнт опору коченню трактора;

i – схил поверхні поля;

η_{m2} - механічний К.К.Д. трансмісії трактора;

η_{δ} - коефіцієнт буксування ведучих коліс трактора.

Тяговий опір машини визначимо [22]:

$$R_M = k B_k + G_M \cdot i; \quad (3.2)$$

де, k - питомий тяговий опір агрегату, кН/м;

B_k - конструкційна ширина машини, м;

G_M - вага машини, кН;

$$R_M = 1,1 \cdot 3,45 + 16,5 \cdot 0,05 = 4,62 \text{ кН}.$$

Механічний коефіцієнт корисної дії трансмісії визначимо за формулою [21]:

$$\eta_{мг} = \eta_{цил}^{\alpha} \cdot \eta_{кон}^{\beta}; \quad (3.3)$$

де, $\eta_{цил}, \eta_{кон}$ - механічний коефіцієнт корисної дії головної та кінцевої зубчастої передачі трансмісії енергетичного засобу;

α, β - кількість пар шестеренних зачеплень в трансмісії на обраній передачі.

$$\eta_{мг} = 0,97^3 \cdot 0,98^1 = 0,894.$$

коефіцієнт буксування ведучих коліс визначимо по формулі: [21]

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100}; \quad (3.4)$$

де, δ - пробуксовування колус в заданих умовах, %.

В роботі по третьому агрофоні стерня зерновиз культур для тракторів коефіцієнт становить приблизно 13% [23].

звідки

$$\eta_{\delta} = 1 - \frac{13}{100} = 0,87.$$

Підставивши дані в залежність (3.1) визначимо потужність необхідну для приводу машини.

$$N_{e.m.} = \frac{[4,62 + 50(0,08 + 0,05)] \cdot 10}{3,6 \cdot 0,894 \cdot 0,870} = 39,7 \text{ кВт}.$$

Подача соломистих решток на робочі органи ротора машини знайдемо за формулою: [22].

$$q = \frac{U \cdot B_p \cdot v_p}{36}; \quad (3.5)$$

де, U - врожайність соломи, т/га;

$$q = \frac{4 \cdot 3,45 \cdot 10}{36} = 3,83 \text{ кг/с}.$$

Загальний тяговий опір машинно-тракторного агрегату формується із суми тягового опору робочої машини та приведенного опору, що враховує витрати потужності на привід активних робочих органів. Такий підхід дозволяє привести енергетичні витрати на виконання технологічного процесу до еквівалентного тягового навантаження, яке повинен долати трактор під час роботи.

Таким чином, загальний тяговий опір агрегату визначається як сума опору машини та приведенного опору приводу робочих органів і розраховується за формулою: [21]:

$$R_{\text{ПР}} = \frac{3,6 \cdot N_{\text{ВВП}} \cdot \eta_{\text{мг}}}{v_p \eta_{\text{ВВП}}}; \quad (3.6)$$

де, $N_{\text{ВВП}}$ - затрати потужності на привод ротора від ВВП трактора, кВт (розраховано в 2 розд.);

$\eta_{\text{ВВП}}$ - К.К.Д. передачі від двигуна до ВВП.

$$R_{\text{ПР}} = \frac{3,6 \cdot 64,3 \cdot 0,894}{10 \cdot 0,95} = 21,7 \text{ кН}.$$

Підставивши дані зможемо розрахувати загальний тяговий опір агрегату.

$$R = R_{\text{М}} + R_{\text{ПР}}; \quad (3.7)$$

$$R = 39,7 + 21,7 = 61,4 \text{ кН}.$$

Ефективність комплектування МТА визначається за величиною коефіцієнтів використання тягового зусилля та потужності двигуна трактора.

Руху трактора на обраній 6 передачі на робочому діапазоні А, забезпечить коефіцієнт використання тягового зусилля трактора:

$$\xi_p = \frac{P_{\text{ТН}}}{P_{\text{НОМ}}}; \quad (3.8)$$

$$\xi_p = \frac{61,4}{65,6} = 0,93..$$

Можна зробити висновок, що скомплектований агрегат на заданому режимі роботи використовує 93% потужності двигуна, що знаходиться в раціональному значенні.

3.2. Визначення кінематичний параметрів роботи МТА

Кінематичний розрахунок машинно-тракторного агрегату полягає у визначенні його основних кінематичних показників під час виконання технологічного процесу на робочій ділянці. До таких показників належать радіус повороту агрегату, ширина поворотної смуги, довжина робочого ходу, коефіцієнт використання шляху та інші параметри, що впливають на продуктивність і ефективність використання технічних засобів.

Для виконання операції мульчування стерні приймаємо гоновий човниковий спосіб руху агрегату з петльовими грушоподібними поворотами (рис. 3.1), який є одним із найбільш раціональних для широкозахватних машин. [21].

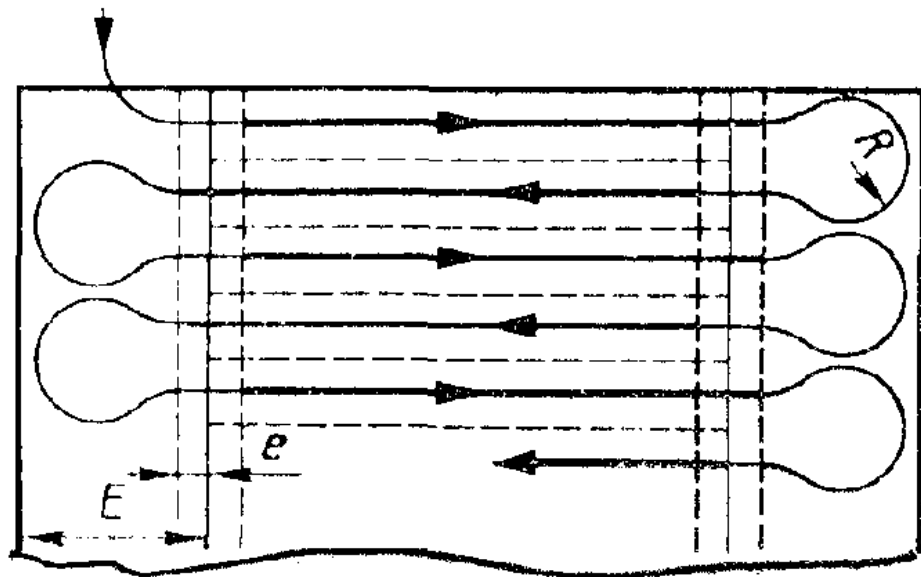


Рис. 3.1 Схема гонового човникового способу руху агрегату з петльовими грушоподібними поворотами

E – ширина розворотної смуги, e – відстань лінійного виїзду, R – радіус повороту агрегату.

Ширина поворотної смуги визначається за формулою [23]:

$$E = 2,8R + 0.5B_p + e; \quad (3.9)$$

Радіус повороту агрегату відповідає встановленому радіусу повороту трактора.

$$E = 2,8 \cdot 4,8 + 0.5 \cdot 3,45 + 2,1 = 17,26 \text{ м.}$$

Ширина розворотної смуги повинна бути кратна робочій ширині захвату машини. Приймамо $E = 17,2$ м, що рівна 5-кратному проходу агрегату.

Прийmemo для розрахунку робочу ділянку площею 50 га (рис. 3.2).

Загальна відстань робочих ходів агрегату становить:[23]

$$S_p = \frac{F}{B_p}; \quad (3.10)$$

де, F – площа поля, м^2 .

звідки,

$$S_p = \frac{484931,2}{3,45} = 140559,8 \text{ м.}$$

Кількість розворотів на смузі буде становити: [23]

$$n_x = \frac{B}{B_p} - 1; \quad (3.11)$$

де, B – ширина ділянки, м.

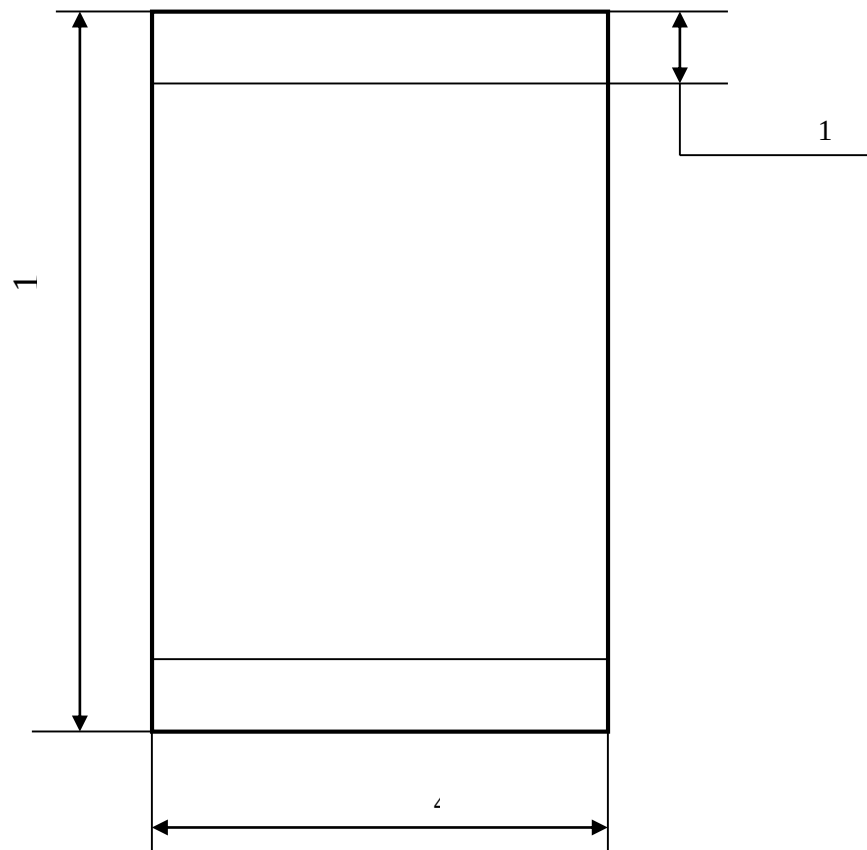


Рис. 3.2 Розрахункова схема робочої ділянки поля

$$n_x = \frac{416}{3,45} - 1 = 119.$$

Сумарну відстань холостих ходів знайдемо по формулі [23]:

$$S_x = n_x(6R + 2e) + 6R + 2e; \quad (3.12)$$

$$S_x = 119(6 \cdot 4.8 + 2 \cdot 2.1) + 6 \cdot 4.8 + 2 \cdot 2.1 = 3960 \text{ м.}$$

Тоді коефіцієнт робочих ходів складе: [23]

$$\varphi = \frac{S_p}{S_p + S_x}; \quad (3.13)$$

$$\varphi = \frac{1405598}{1405598 + 3960} = 0,973.$$

Результати кінематичного розрахунку свідчать, що при використанні обраного способу руху машинно-тракторного агрегату **97,3 % загального шляху** припадає безпосередньо на виконання технологічної операції, а лише **2,7 %** — на непродуктивні переміщення, пов'язані з виконанням поворотів та маневруванням на поворотних смугах.

Такий показник характеризує високу ефективність організації роботи агрегату та підтверджує доцільність застосування гонового човникового способу руху з петльовими грушоподібними поворотами.

3.3 Визначення техніко-економічних показників роботи МТА

Нормативну продуктивність можна визначити [29]:

$$H_B = \frac{T_{зм} - (T_{п.з} + T_{від} + T_{ос.п} + T_{обс})}{60 \times (1 + r_{пов} + r_{пер} + r_{доп.р})} \times W \quad (3.14)$$

де, $T_{зм}$ - час зміни, хв (420 або 360);

$T_{пз}$ - час підготовчо-заключних робіт;

$T_{вд}$ - час відпочинку протягом зміни;

$T_{осп}$ – тривалість часу індивідуальних потреб оператора;

$T_{обс}$ -обслуговування агрегату на протязі робочого періоду;

$r_{пов}, r_{пер}, r_{доп.р}$ -коефіцієнт розворотів, переїздів доп. робіт.

Визначимо годинну продуктивність роботи МТА:[24]

$$W = 0.1 \cdot B_p \cdot V_p; \quad (3.15)$$

де, B_p - робоча ширина захвату агрегату, м;

V_p - робоча швидкість руху, км/год.

$$W = 0.1 \cdot 3,45 \cdot 10,6 = 3,65 \text{ га.}$$

Визначимо коефіцієнт поворотів із залежності: [22]

$$\Gamma_{\text{пов}} = \frac{V_p \times T_{\text{пов}}}{3,6 \times L} \quad (3.16)$$

де, $T_{\text{пов}}$ - тривалість одного повороту, хв

L - середня відстань гоні, м.

Визначимо тривалість розвороту по формулі: [22]

$$T_{\text{пов}} = \frac{L_{\text{пов}}}{v_p}; \quad (3.17)$$

де, $L_{\text{пов}}$ – шлях повороту, км.

За обраним типом повороту шлях становитиме [23]:

$$L_{\text{пов}} = (6,6 \dots 8,0) R; \quad (3.18)$$

$$L_{\text{пов}} = (6,6 \dots 8,0) 4.8 = 31,6 \dots 52,8 \text{ м.}$$

Приймаємо $L_{\text{пов}} = 0,042$ км.

$$T_{\text{пов}} = \frac{0,04}{10,6} = 0,2 \text{ хв.}$$

Якщо агрегат працює на одній ділянці, то коефіцієнт переїздів становить (1).

Тривалість складових зміни визначимо з нормативу [24].

$$H_B = \frac{420 - (38 + 30 + 4)}{60(1 + 0,2 + 0 + 0)} 3,65 = 17,64 \text{ га.}$$

Визначимо питоми витрати палива:[23]

$$Q_{\text{за}} = \frac{T_o \cdot Q_o + T_{\text{пов}} \cdot Q_{\text{пов}} + T_{\text{зуп}} \cdot Q_{\text{зуп}}}{H_B}; \quad (3.19)$$

де T_o , $T_{\text{пов}}$, $T_{\text{зуп}}$ – тривалість часу на основну роботу, повороти та зупинки;

Q_o , $Q_{\text{пер}}$, $Q_{\text{зуп}}$, – норми витрати палива на основну роботу, повороти, переїзди та зупинк, кг.

Розрахуємо сумарні затрати часу на повороти:

$$T_{\text{пов}} = L_{\text{пов}} \cdot n_x; \quad (3.20)$$

$$T_{\text{пов}} = 0,2 \cdot 119 = 23,8 \text{ хв} = 0,4 \text{ год.}$$

тоді

$$Q_{\text{за}} = \frac{5,8 \cdot 24 + 0,2 \cdot 15 + 0,25 \cdot 8,5}{17,64} = 8,1 \text{ кг/га.}$$

Висновки по розділу 3.

За результатами виконаних розрахунків продуктивність машинно-тракторного агрегату становить **3,65 га/год**, а питоми витрати палива - **8,1 кг/га**, що свідчить про достатньо високі техніко-економічні показники виконання технологічної операції мульчування рослинних решток.

Робота агрегату організована за човниковим гоновим способом руху із застосуванням петльових грушоподібних поворотів, що забезпечує високий коефіцієнт використання робочих ходів, який становить **0,97**. Це означає, що переважна частина часу та пройденого шляху використовується безпосередньо для виконання технологічного процесу, а втрати на повороти та маневрування є мінімальними.

Отримані результати підтверджують раціональність комплектування розробленого мульчувача з трактором John Deere 6155M. Потужність енергетичного засобу, його тягово-швидкісні характеристики та експлуатаційні показники повною мірою відповідають вимогам технологічного процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз сучасних технологій поверхневого обробітку ґрунту показав, що одним із найбільш перспективних напрямів розвитку землеробства є застосування мульчувального обробітку, який забезпечує збереження вологи, захист ґрунту від ерозійних процесів, та зниження енергетичних витрат.
2. На основі аналізу існуючих конструкцій мульчувачів розроблено конструкцію роторного мульчувача шириною захвату 3,5 м, оснащеного горизонтальним ротором із шарнірно закріпленими Y-подібними ножами. Запропоновано схему приводу робочого органу від валу відбору потужності трактора через карданну передачу, конічний редуктор, пасову передачу та роликову обгінну муфту.
3. У результаті розрахунку робочого органу встановлено, що оптимальним є застосування ротора з горизонтальною віссю обертання та показником кінематичного режиму роботи $\lambda = 1,9$, що забезпечує ефективне зрізання, подрібнення та розподіл рослинних решток по поверхні поля.
4. Проведений тяговий та експлуатаційний розрахунок машинно-тракторного агрегату показав доцільність агрегування розробленого мульчувача з трактором John Deere 6155M. Кінематичний аналіз роботи агрегату підтвердив ефективність використання човникового гонового способу руху з петльовими грушоподібними поворотами. Коефіцієнт робочих ходів становить **0,97**, продуктивність МТА становить **3,65 га/год**, а питомі витрати палива - **8,1 кг/га**, що характеризує розроблену машину як енергоощадний та високопродуктивний технічний засіб для виконання операцій мульчування.
5. Застосування розробленого мульчувача дозволить підвищити ефективність використання рослинних решток, покращити якість поверхневого обробітку ґрунту, знизити експлуатаційні витрати та сприятиме поширенню ґрунтозахисних технологій у сільськогосподарському виробництві.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кушнар'ов А. С. Обробіток ґрунту і умови ефективного землеробства : монографія. Київ : Урожай, 2010. 320 с.
2. Медведєв В. В. Ґрунтознавство і агрофізика ґрунтів України. Харків : Факт, 2015. 400 с.
3. Лисогурський О. В. Машини та обладнання для обробітку ґрунту : навч. посіб. Київ : Аграрна освіта, 2018. 276 с.
4. Тарасенко В. В. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Вища освіта, 2012. 512 с.
5. Булгаков В. М., Клименко М. О. Системи мінімального обробітку ґрунту в землеробстві України. Київ : Аграрна наука, 2016. 248 с.
6. Бойко П. І., Скрильник Є. В. Ґрунтозахисні технології в сучасному землеробстві. Харків : ХНАУ, 2014. 312 с.
7. Колесніков О. М. Енергозбереження в аграрному виробництві. Київ : НУБіП України, 2017. 198 с.
8. Гринько І. В. Механізація рослинництва : навч. посіб. Київ : Центр учбової літератури, 2019. 360 с.
9. ДСТУ 2730:2015. Якість ґрунту. Показники родючості. Київ : УкрНДНЦ, 2016. 22 с.
10. FAO. Conservation Agriculture Principles. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2020. 180 p.
11. Lal R. Soil Management and Conservation Agriculture. Boca Raton : CRC Press, 2019. 450 p.
12. Сало В. М., Лещенко С. М., Лузан П. Г., Мачок Ю. В., Богатир'ов Д. В. Машини для обробітку ґрунту та внесення добрив : навч. посіб. / за ред. В. М. Сало Харків : Мачулін, 2016. 244 с.

- 13.Матеріали ІХ Міжнар. наук.-тех. конф. Актуальні задачі сучасних технологій: зб. тез Тернопіль, 2020. С. 72–74.
- 14.Що таке мульчувач і для чого він потрібен у сільському господарстві / Полтавщина. – Полтава, 2025. Електрон. джерело. – Режим доступу: <https://poltava.to/news/81779>
- 15.Афанасьєв М. К., Маслов Г. Г., Ребров О. Ю. Деталі машин : підручник. Київ : Вища школа, 2018. 687 с.
- 16.Джонсон К. Механіка контактної взаємодії. Київ : Наукова думка, 2019. 624 с.
- 17.Кузьо І. В., Стечишин М. С., Кузьо Р. І. Деталі машин. Основи теорії та розрахунку : підручник. Львів : Новий Світ–2000, 2020. 540 с.
- 18.Тимошенко С. П. Опір матеріалів. Київ : Наукова думка, 2020. Т. 1. 560 с.
- 19.Тимошенко С. П. Опір матеріалів. Київ : Наукова думка, 2020. Т. 2. 480 с.
- 20.Stieber. Freewheels, Backstops and Overrunning Clutches : Catalogue. Heidelberg : Stieber GmbH, 2024. 188 р.
- 21.Кравчук В. П., Грек Б. І. Машиновикористання в землеробстві : підручник. Київ : Урожай, 2018. 528 с.
- 22.Лисенко В. П. Машинно-тракторні агрегати та їх експлуатація : навч. посіб. Київ : НУБіП України, 2020. 310 с.
- 23.Погорілий Л. В., Кравчук В. П. Технічна експлуатація машин і обладнання АПК. Київ : Аграрна освіта, 2017. 456 с.
- 24.Барановський В. М. Основи експлуатації машинно-тракторного парку. Харків : ХНТУСГ, 2021. 368 с.

ДОДАТКИ