

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Допущено до захисту

“ ” 2025 p.

Зав. кафедри, д.т.н., професор

_____ Дідур В.В.

Кваліфікаційна робота (дипломна робота)

другий (магістерський)

(освітній рівень)

на тему **«ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧИХ ОРГАНІВ МАШИН
ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ»**

Виконав: студент 2 курсу,

групи 22м-ім

Спеціальність Н7

«Агроінженерія»

Олександр РЕВУЦЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник Юрій КОВАЛЬЧУК

(прізвище та ініціали)

Рецензент Катерина КОСТЕЦЬКА

(прізвище та ініціали)

Умань – 2025

УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АГРОІНЖЕНЕРІЇ

Освітній рівень _____ магістр _____
 Спеціальність _____ Н7 «Агроінженерія» _____
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Дідур В.В.

“ _____ ” _____ 20 ____ р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Ревуцькому Олександр Сергійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження параметрів робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту»

керівник роботи _____ Ковальчук Ю.О., к.т.н., доцент _____
 (прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від

“ _____ ” _____ 20 ____ р. № _____

2. Строк подання студентом роботи _____ 20.11.2025 р. _____

3. Вихідні дані до роботи: існуючі конструкції ґрунтообробних ротаційних машин.

4. Перелік питань, які потрібно розробити:

аналіз існуючих конструкцій машин для поверхневого обробітку ґрунту;
теоретично дослідити технологічні та конструктивні параметри автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту;
питання охорони і безпеки праці; техніко-економічне обґрунтування роботи.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Прокопенко Е.В., доцент		

7. Дата видачі завдання 04 квітня 2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	При- мітка
1.	Підбір та вивчення літературних джерел, підготовка вступу	04.04.2025 р.	
2.	Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень	05.05.2025 р.	
3.	Розділ 2. Дослідження машин для поверхневого обробітку ґрунту	04.06.2025 р.	
4.	Розділ 3. Теоретичні дослідження технологічних та конструктивних параметрів автопривідного секційного робочого органу для вилічування бур'янів з розпушенням ґрунту	03.09.2025 р.	
5.	Розділ 4. Охорона праці	01.10.2025 р.	
6.	Розділ 5. Техніко-економічне обґрунтування	16.11.2025 р.	
7.	Виконання презентаційної частини роботи	20.11.2025 р.	
8.	Представлення роботи керівнику на перевірку	20.11.2025 р.	

Студент

(підпис)

Олександр РЕВУЦЬКИЙ

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Юрій КОВАЛЬЧУК

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Ревуцький О.С. Дослідження параметрів робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту. (Дипломна робота. Умань, Уманський національний університет, 2025: пояснювальна записка на 44 сторінках, у т.ч. 5 розділів, 12 рисунків, 2 таблиці, 26 джерел).

Об'єкт дослідження – параметри робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту.

Мета роботи – дослідити конструктивні параметри автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту.

У першому розділі “Стан питання і задачі досліджень” наведено аспекти проведення поверхневого обробітку ґрунту та сформовано задачі досліджень.

У другому розділі “Дослідження машин для поверхневого обробітку ґрунту” наведено огляд конструкцій ґрунтообробних машин для поверхневого обробітку ґрунту та приводів цих робочих органів, результати попередніх теоретичних досліджень.

У третьому розділі “Теоретичні дослідження технологічних та конструктивних параметрів автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту”, розраховано параметри автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту.

У четвертому розділі “Охорона праці” розглянуто стан охорони праці при роботі з ґрунтообробними знаряддями, та зокрема, зі знаряддями з активними робочими органами.

У п'ятому розділі “Техніко-економічне обґрунтування” розраховано основний ефект від запропонованого конструктивного удосконалення автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту.

ПОВЕРХНЕВИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ, ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	6
1.1. Загальна характеристика робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту.....	6
1.2. Загальні поняття про поверхневий обробіток ґрунту.....	8
1.3. Негативний вплив бур'янів на сільськогосподарські культури.....	10
1.4. Висновки і завдання досліджень.....	11
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДЖЕННЯ МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ	12
2.1. Фрези, робочі органи фрез. Призначення, загальна будова та характеристика фрези для обробітку ґрунту.....	12
2.2. Котки. Призначення, типи, загальна будова і робота	15
2.3. Призначення, будова та робота комбінованих ґрунтообробних машин.....	16
2.4. Висновки.....	19
РОЗДІЛ 3 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОПРИВІДНОГО СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИСІЧУВАННЯ БУР'ЯНІВ З РОЗПУШУВАННЯМ ҐРУНТУ.....	20
3.1. Конструкція автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.....	20
3.2. Аналітичне визначення основних параметрів роботи роторів.....	23
3.3. Визначення параметрів переднього ротора.....	24
3.4. Визначення параметрів заднього ротора.....	28
3.5. Визначення довжини відрізка ґрунту, що обробляється ножем переднього ротора.....	32
3.6. Висновки.....	33
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ	34
4.1. Служба охорони праці господарства	34
4.2. Виробничий травматизм при виконанні механізованих операцій...	35
4.3. Безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах.....	36
РОЗДІЛ 5 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ	39
ВИСНОВКИ.....	41
Список використаних джерел.....	42

ВСТУП

У боротьбі з бур'янами широко застосовуються хімічні та біологічні методи. Але найбільш ефективним є механічний метод, оскільки, крім знищення бур'янів, виконується розпушування ґрунту, внаслідок чого покращуються обмінні процеси в ньому, що позитивно впливає на зростання та розвиток сільськогосподарських культур.

При цьому способі бур'яни підрізаються робочими органами машин для поверхневого обробітку ґрунту. Слід зазначити, що цей спосіб не завжди ефективний. Так, наприклад, при засміченості поля коренепаростковими бур'янами після обробки робочими органами культиваторів через деякий час з'являються нові бур'яни. Справа в тому, що ці бур'яни розмножуються вегетативно, при цьому найбільш ефективним буде вилучення їх із ґрунту разом з коренем. Таким чином, розробка та впровадження нових технічних засобів по боротьбі з бур'яном є одним з пріоритетних завдань сучасної механізації сільського господарства.

Використання робочих органів машин для обробітку ґрунту забезпечують скорочення термінів підготовки ґрунту до посіву, зниження енерговитрат та витрат праці на 20...25%.

Найбільш ефективний напрямок підвищення продуктивності сільськогосподарських машин і агрегатів – це збільшення їх робочих швидкостей. Досягається це за рахунок застосування енергетичних засобів підвищеної потужності, удосконаленням конструкцій машин.

Аналізуючи схеми та конструкції теперішніх сільськогосподарських машин бачимо, що енергетичні засоби дозволяють збільшити їх швидкісний режим і продуктивність від 1,3 до 2-х разів.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Мета й основні завдання поверхневого обробітку ґрунту в сучасних умовах

Механічний обробіток ґрунту залишається фундаментальною агротехнічною операцією, спрямованою на підвищення родючості, оптимізацію фізико-хімічних і біологічних властивостей ґрунтового шару та створення придатного посівного ложа для культурних рослин. У сучасному землеробстві завдання поверхневого обробітку формулюються з урахуванням принципів точного землеробства, ресурсозбереження та боротьби з деградацією ґрунтів. Серед ключових цілей:

Формування оптимальної структури посівного шару, що забезпечує сприятливе співвідношення капілярної і некапілярної пористості та рівномірну доступність води для насіння і коренів.

Забезпечення збалансованого водно-повітряного режиму — підтримання оптимального співвідношення вологи й повітря в прикореневому шарі для інтенсивного дихання і росту кореневої системи.

Корекція теплового режиму ґрунту: створення умов для швидшого прогрівання посівного шару навесні та стабілізації температурного режиму в перші фази росту рослин.

Сприяння біологічним процесам: активація мікробіологічної діяльності, прискорення мінералізації органічної речовини й підвищення доступності поживних елементів.

Контроль бур'янів, шкідників і хвороб через механічне порушення циклів їх розвитку, загортання решток і локалізацію засобів захисту/добрих.

Забезпечення умов для точного загортання насіння і оптимального контакту «насінина — ґрунт» з метою підвищення енергії проростання та рівномірності сходів.

Збереження вологи й боротьба з ерозією в залежності від агрокліматичного району: у посушливих — мінімізація втрачених запасів вологи; у надмірно вологих — покращення дренажу й аерації; на ерозійно-схильних ділянках — протиерозійні прийоми і смугові системи обробітку.

Поверхневий обробіток — це сукупність операцій на глибину, яка зазвичай не перевищує 12–14 см, і яка формує фінальне посівне ложе. У сучасних технологіях ці операції інтегровані з принципами мінімального втручання, мульчування та смугового обробітку. Основні функції та процеси:

Перевертання: у сучасній практиці застосовується локальне або смугове перевертання (strip-till) для загортання решток і локалізації поживних речовин, тоді як повне перевертання пласта зменшують через негативні наслідки для структури й органічної речовини.

Розпушування і кришіння: досягається дроблення брил до дрібногрудкуватого стану, збільшення некапілярної пористості та проникності ґрунту для повітря і води; сучасні агрегати дозволяють контролювати ступінь розпушування з точністю за допомогою датчиків глибини.

Перемішування: рівномірне розподілення поживних решток, мінеральних і органічних добрив, вапна та інших агрохімікатів — здійснюється дисковими та комбінованими агрегатами з регульованою інтенсивністю перемішування.

Вирівнювання: формування рівної поверхні для забезпечення однакової глибини сівби; агрегати з вирівнювачами і котками виконують цю операцію в одному проході.

Ущільнення: створення прикатуючого шару для поліпшення контакту насінини з ґрунтом, регулювання капілярного підйому вологи і оптимізації прогрівання; сьогодні застосовують регульовані котки, що дозволяють досягти заданої щільності.

Обробіток із залишенням стерні: no-till, мінімальний обробіток і плоскорізні технології, спрямовані на збереження мульчі на поверхні, накопичення органічної речовини та зниження ерозії.

Боронування та шлейфування: руйнування кірки, пригнічення дрібних бур'янів та вирівнювання дрібнозернистих нерівностей поверхні; сучасні борони мають регульовані кути атаки й гасіння коливань для рівномірної обробки.

Культивація: контроль бур'янів, формування дрібногрудкуватого посівного шару; актуально використання GPS-керованих культиваторів із зоною регулювання глибини й автоматичною підстройкою під рельєф.

Коткування: регулювання контактної щільності, зменшення випаровування й вирівнювання поверхні; котки комбінують із вирівнювачами і пресуючими секціями.

Плоскорізний обробіток і глибоке безполицеве розпушування: руйнування ущільнених пластів без інверсії шару, що важливо для збереження капілярної структури і водного балансу.

Створення борозен і гряд: локалізація висіву й добрив у смугах (strip-till), профілювання рядків для економії вологи та поліпшення локальної мінеральної підтримки кореневої системи.

Фрезерування і комбінована передпосівна підготовка: інтенсивне подрібнення решток і вирівнювання, часто виконуються комбінованими агрегатами в одному проході для зниження кількості технологічних операцій.

1.2 Машини, агрегати та елементи точного обробітку

Сучасний набір устаткування для поверхневого обробітку включає:

Комбіновані агрегати (диски + вирівнювач + коток) з можливістю регулювання кута атаки та глибини;

Strip-till установки та плоскорізи-глибокорозпушувачі з модульною конструкцією;

Сівалки прямого висіву і точного висіву з VRA (Variable Rate Application), GPS та системами контролю висіву;

Комбіновані передпосівні агрегати, що культивують, вирівнюють і коткують у одному проході;

Локалізатори добрив (banding) і інжектори для внесення мікродобрив та стимуляторів;

Датчики і телеметрія: датчики глибини, притискової сили, вологості, а також платформи для картування проходів і контролю перекриттів.

Вибір конкретного способу ґрунтообробки повинен базуватися на аналізі:

Типу ґрунту (структура, механічний склад, наявність ущільнених шарів);

Кліматичних умов (рівень опадів, ризик тривалих посух чи підтоплень);

Обсягу та характеру пожнивних решток (кількість, рівномірність розподілу);

Ерозійних ризиків і схильності ділянки до водної чи вітрової ерозії;

Роль попередника й агротехнічної системи (сівозміна, вимоги до гербіцидного захисту);

Наявності техніки, фінансових можливостей і готовності господарства до впровадження точних технологій;

Потреби інтегрувати обробіток із картографією продуктивності, VRA і системами моніторингу.

Переваги й ризики сучасних підходів

Переваги:

Економія води і зниження ерозії при мінімальному обробітку і strip-till;

Збереження й нарощування органічної речовини за рахунок мульчування і зменшення кількості проходів;

Зниження витрат пального та скорочення робочого часу завдяки комбінованим агрегатам;

Підвищення ефективності добрив через локалізоване внесення і точне дозування;

Покращення стартових умов для насіння і більш рівномірні сходи при застосуванні точних сівалок.

Ризики й обмеження:

Потреба в якісному контролі бур'янів у системах no-till і strip-till (інтеграція з гербіцидною стратегією та механічними прийомами);

Необхідність адаптації техніки до великої кількості пожнивних решток та їх рівномірного розподілу;

Високі капітальні витрати на модернізовану техніку, телеметрію та системи VRA;

Потреба у спеціалізованих навичках персоналу для налаштування і обслуговування складних агрегатів.

Рекомендації з впровадження та практичні поради

Будувати технологічні карти й зони обробітку на основі карт продуктивності, агрохімічних аналізів і топографії поля.

Для посушливих ділянок впроваджувати strip-till або мінімальний обробіток; у районах із високим ризиком ерозії — смугові технології та мульчування.

На важких ґрунтах поєднувати ранню зяблеву оранку (де потрібно) з мінімальними весняними заходами або з використанням плоскорізних розпушувачів для руйнування ущільнених шарів.

Використовувати комбіновані агрегати для передпосівної підготовки, що зменшать кількість проходів і збережуть вологу.

Інтегрувати локалізоване внесення фосфору й калію при сівбі (banding) та застосовувати точні аплікатори мікродобрих у випадку дефіциту.

Забезпечити рівномірне розподілення пожнивних решток при збиранні, щоб уникнути проблем із засміченням сівалок і нерівномірним прогріванням ґрунту.

Планувати оновлення парку техніки з урахуванням модульності агрегатів і сумісності з GPS/ISOBUS та VRA-рішеннями.

Проводити регулярний моніторинг стану ґрунту: вимір вологості, консистенції, ущільнення (пенетрометр), вміст органіки, pH та картування проблемних зон.

Сучасний поверхневий обробіток ґрунту — це гармонійне поєднання класичних агротехнічних методів та інноваційних підходів точного землеробства. Головна мета — сформувати оптимальне посівне ложе й мікроклімат для насіння при мінімізації негативних наслідків для ґрунтового покриву, економії ресурсів і підвищення стійкості агроєкосистеми. Вибір конкретної системи має базуватися на детальному аналізі місцевих умов, доступної техніки та стратегічних цілей господарства.

1.3 Негативний вплив бур'янів на сільськогосподарські культури.

Відомо, що втрати продуктивності сільськогосподарських культур при засміченості посівів сягають 35% і більше. Бур'яни знижують родючість ґрунту, а також сприяють поширенню шкідників та хвороб.

Крім того, що бур'яни різко знижують урожай, їхня присутність у посівах ускладнює збирання польових культур, а також погіршується якість продукції, що виробляється.

На засмічених полях температура ґрунту знижується більш ніж на 2 - 4 С. Це веде до зменшення активності ґрунтових мікроорганізмів, уповільнюючи тим самим процеси розкладання органічної речовини та зменшуючи вміст поживних елементів [3].

Сміттева рослинність має безліч видів, що містять отруйні речовини. Коріння деяких із них виділяють ферменти, здатні пригнічувати культурні рослини. Потрапляючи в зерно під час обмолоту, насіння бур'янів знижує його товарну цінність, викликаючи додаткові витрати на очищення. Їхня присутність у борошні, погіршує харчові якості, сприяє швидкому її псуванню. Крім цього, споживання такої продукції може спричинити отруєння.

Засміченість посівів деякими видами бур'янів сприяє виляганню зернових культур, такими рослинами є гречка в'юнкова, в'юнок польовий і т.п. Рослини з дерев'янистими стеблами сильно ускладнюють виробництво збирання врожаю, до них відносяться осет рожевий, полин, буркун та ін [7]. Сміттеві трави – носії низки хвороб та розповсюджувачі комах – шкідників. Багато з них відкладають яйця на бур'янах, якими харчуються спочатку личинки, що переходять потім на злакові культури.

Так, одне з найбільш шкідливих та широко поширених бур'янів – будяк польовий, що утворює на 1 га 3,6 т надземної та 2,1 т підземної маси, поглинає з ґрунту 138 кг азоту, 31 кг фосфору та 117 кг калію. Тим часом, для формування 1 т зерна витрачається 25 кг азоту, 15 кг фосфору та 15 кг калію, тобто будяк польовий при середній засміченості поля споживає з ґрунту таку кількість поживних речовин, якої вистачило б для отримання на кожному гектарі 31,8 ц зерна озимої пшениці [8].

Цим зумовлений інтерес виробників сільськогосподарської продукції до розробки та впровадження нової техніки для знищення бур'янів, здатної знизити витрати на обробіток культурних рослин.

1.4. Висновки і завдання досліджень.

У висновок можна сказати, що поверхневий обробіток ґрунту дуже важливий для сільськогосподарських культур. Важливо досліджувати всі види поверхневого обробітку ґрунту. Тому метою даної роботи є дослідити конструктивні параметри робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту.

Відповідно до поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

1. Дослідити існуючі конструкції машин та їх робочих органів машин для поверхневого обробітку ґрунту.

2. Теоретично дослідити технологічні та конструктивні параметри автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.

3. Розробити заходи охорони праці при роботі з ґрунтообробними агрегатами.

4. Провести аналіз економічних показників застосування базової та вдосконаленої машини при обробітку ґрунту.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ МАШИН ДЛЯ ПОВЕРХНЕВОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

2.1 Фрези: призначення, конструкція робочих органів та сучасна характеристика

Сучасні фрези для ґрунтообробітку — це активні агрегати з приводом робочих органів у примусовому обертовому русі, що розширюють можливості передпосівного і поверхневого обробітку порівняно з пасивними знаряддями (борони, культиватори). Застосування фрез у поточних системах ґрунтообробітку поєднує класичні функції подрібнення та кришіння з елементами мінімального та смугового обробітку, локалізованого внесення добрив і інтеграції з системами точного землеробства.

Основні функції та переваги сучасних фрез

Інтенсивне подрібнення і кришіння грудок, швидке руйнування поверхневої кірки та підготовка дрібногрудкуватого посівного ложа.

Можливість працювати як в класичному передпосівному циклі, так і в системах strip-till або shallow-till для локальної обробки смуг під рядок.

Локалізація пожнивних решток і одночасне загортання дрібних залишків, що сприяє швидшій мінералізації і кращому контакту добрив із ґрунтом.

Сучасні моделі дозволяють зменшити кількість подальших проходів (культивація, боронування), скоротити строки підготовки поля і знизити енерговитрати в масштабі технологічної лінії.

Конструкція і робочі органи

Барабан (ротор) з модульним кріпленням ножів — основний робочий орган. Ротор може бути циліндричним або сегментним; діаметри сучасних барабанів зазвичай у межах 300–600 мм в залежності від призначення.

Ножі — різних типів: Г-подібні, зігнуті, прямі, долотообразні, зубчасті, кутові, універсальні «чиркові» і комбіновані. Сучасні ножі мають напилення з карбіду або зносостійке покриття (Hardox-аналог) для подовженого міжремонтного ресурсу. Часто застосовують швидкозмінні кріплення для оперативної заміни зношених елементів.

Пружинні або гумометалеві амортизатори, шарнірні підвіски та механізми самоврегулювання глибини — забезпечують адаптацію ножів до нерівностей і зменшення ударних навантажень.

Корпус з захисними кожухами і направляючими фартухами, що оптимізують потік ґрунту і зменшують пиління.

Привід і трансмісія

Ротор отримує обертання від ВВП трактора або автономного приводного мотора (гідромотор/електромотор у самохідних машинах). У високопродуктивних системах використовують реверсивні редуктори, електроприводи з регулюванням частоти обертів та коробки передач з плавним регулюванням.

Сучасні агрегати оснащені механізмами контролю оборотів ротора (датчики тахометра) та системами автоматичного зниження обертів при блокуванні або за перевантаженні.

Технологічні особливості роботи

Обертові ножі при поступальному русі агрегату зрізають і відкидають шар ґрунту; фракція подрібненого матеріалу зазвичай 1–5 см, але за змінених режимів і конструкцій може бути дрібнішою.

Регульована частота обертів і швидкість руху дають можливість керувати ступенем подрібнення та інтенсивністю перемішування.

Можливість поєднання з локаторами добрив (banding), сошниками для точкового внесення мінералів і сівалками — створює цілісну технологічну лінію передпосівної підготовки.

Область застосування та ефективність

Фрези широко використовують на овочевих плантаціях, у багаторічних і закритих ґрунтах, на малих полях і ділянках з великою кількістю пожнивних решток.

У роки з достатньою вологістю фрезерування часто дає вищу врожайність у порівнянні з традиційною схемою обробітку, оскільки забезпечує швидкий старт і активну мінералізацію добрив.

Важливе обмеження — неможливість роботи на надмірно вологому ґрунті; також при надмірному інтенсивному фрезеруванні можливе посилення руйнування структури і прискорене випаровування вологи.

Недоліки і шляхи їх мінімізації

Розпилювання і потенційне руйнування структури ґрунту: вирішується регулюванням частоти обертів, швидкості руху, застосуванням котків та мульчувальних елементів для збереження вологи.

Швидкий знос ножів: використання зносостійких матеріалів, змінних вставок, сучасних геометрій лез і систем швидкої заміни.

Високе енергоспоживання при інтенсивній роботі: застосування оптимізованих роторних конфігурацій, гідродинамічних редукторів і можливих електроприводів для підвищення ККД.

Обмеження робочої швидкості: сучасні моделі проектують з урахуванням вищих робочих швидкостей при збереженні якості обробітку за допомогою жорстких конструкцій ротора і стабілізаційних елементів.

Конструктивні схеми і приклади секцій

Барабан з пружинним кріпленням ножів (амортизація ударів і захист від каменів).

Барабан з жорстким кріпленням прямих ножів — для інтенсивного зрізування і стабільної геометрії обробітку.

Комбіновані секції: ротор + пасивний ніж під корпусом (для добору необробленої смуги) + фартух для регулювання вивантаження ґрунту.

Сучасні технічні параметри (нозіативні орієнтири)

Діаметр барабана: 300–600 мм; ширина захвату секції: 1,2–6,0 м (агрегати модульні, сумарна ширина 3–8 м і більше);

Робоча глибина: поверхнева 4–12 см (регульована); для strip-till — локальна глибина 10–20 см у смугі;

Робоча швидкість: 4–12 км/год залежно від моделі і завдання;

Частота обертів ротора: 200–1200 об/хв з регулюванням;

Привід: ВВП трактора 540/1000 об/хв або автономний гідро/електропривід;

Типи ножів: швидкозмінні вставки з твердосплавними напайками; пружинні гачки для захисту від перешкод.

Безпека і експлуатація

Сучасні фрези обладнані щитками, захисними кожухами, датчиками блокування та аварійного вимкнення; рекомендується інтеграція з ISOBUS/CAN-шиною для моніторингу параметрів і виведення даних на термінал трактора.

Регламент технічного обслуговування — щоденна перевірка кріплень ножів, підшипників, редуктора; періодична заміна мастила і огляд зубів на знос; наявність запасних комплектів ножів і інструменту для швидкої заміни.

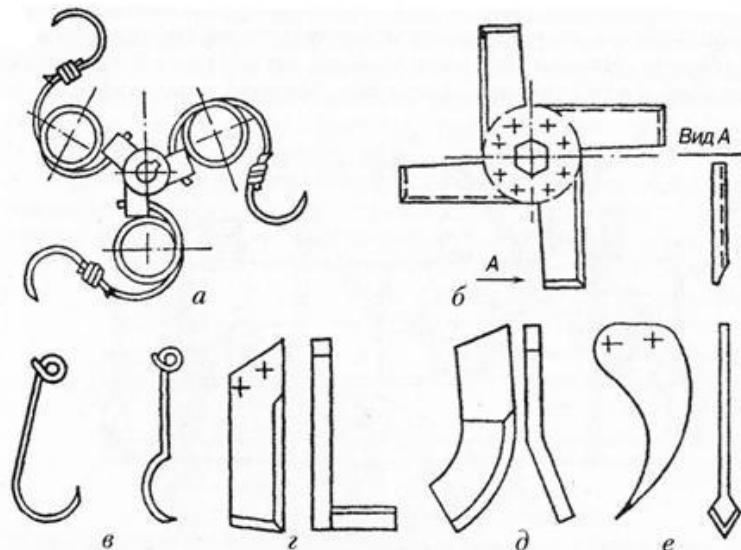


Рисунок 1 – Робочі органи фрез: а – барабан з пружинним кріпленням ножів; б – барабан з жорстким кріпленням прямих ножів; в – пружинні гачки; г - Г –подібний ніж; д – зігнутий ніж; е – розпушувальне долото.

2.2 Котки: сучасні типи, призначення та конструктивні особливості

Котки залишаються ключовими агрегатами для регулювання контактної щільності ґрунту, вирівнювання поверхні і контролю випаровування. У сучасних технологіях котки застосовують у передпосівному комплексі, у поєднанні з комбінованими агрегатами та сівалками точного висіву.

Функції котків у сучасній технології

Підтримка контакту «насінина—ґрунт» для підвищення енергії проростання і рівномірності сходів;

Регулювання капілярного підняття вологи і зниження випаровування;

Руйнування дрібної кірки та подрібнення грудок, поліпшення умов роботи сівалок і збиральної техніки;

Використання як прикатуючого елемента у комбінованих агрегатах і при одночасному внесенні добрив.

Сучасні типи котків і їх особливості

Кільчасті (кільчасто-шпорові, кільчасто-зубчасті) — з дисками, на яких встановлені кільця або зуби; забезпечують інтенсивне розпушування і локальне ущільнення; сучасні диски виконують із високоміцних сталей, мають покриття для зниження налипання ґрунту.

Борінчасті (рамні, пружинні) — легші, застосовуються для тонкої шліфовки поверхні; добре працюють у комбінації з котками більшого тиску.

Гладкі водоналивні/пескозалівачні котки — забезпечують рівномірне прикатування і регульований тиск за допомогою заповнення рідиною або піском; модернізовані моделі мають системи скидання баласту для транспортування.

Пружинні/гумові котки та пневматичні ролики — зниження ударних навантажень на конструкцію і рівномірніший тиск по захвату.

Комбіновані котки (комбі-ролики) — поєднують кільчасті та гладкі елементи для одночасного розпушування і ущільнення.

Конструктивні рішення і регулювання

Секційна конструкція з можливістю індивідуального навішування і регулювання тиску на кожну секцію;

Системи регулювання тиску (зміна баласту, рівня води/піску, гідравлічне регулювання) для оперативного переходу між режимами «перед сівбою / після сівби / транспортування»;

Самоочисні профілі дисків і чистики для запобігання налипанню ґрунту;

Вбудовані датчики зчитування тиску і розподілу навантаження для моніторингу і виведення на термінал.

Практичні параметри

Робочі швидкості: 5–12 км/год (залежно від типу котка і умов);

Тиски на ґрунт: регульовані в широких межах (наприклад 20–60 Н/см для водоналивних котків);

Ширина захвату: від 2,5 до 8 і більше метрів (модульні агрегати).

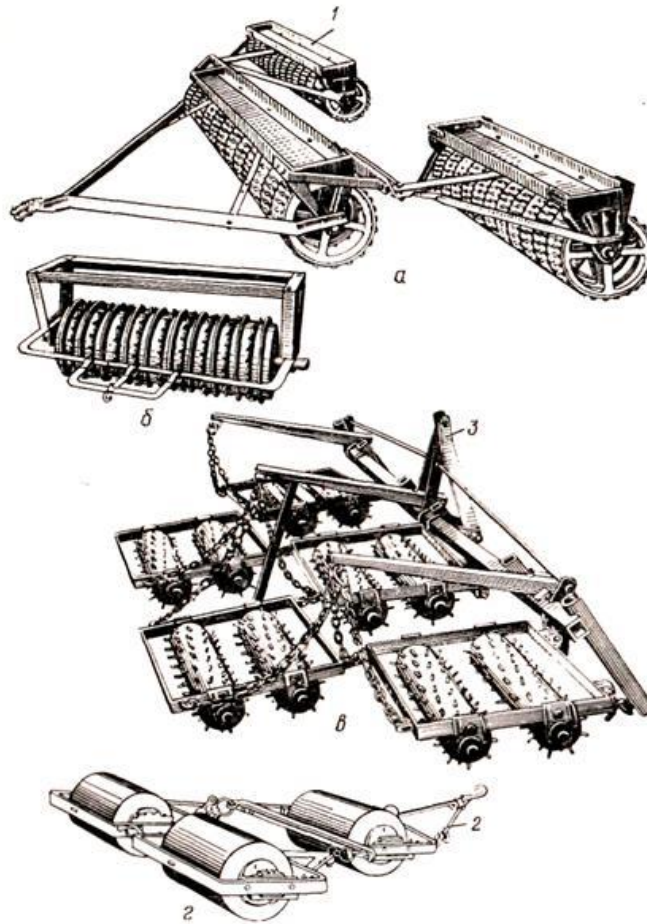


Рисунок 2 – Котки: а – кільчасто-шпоровий коток ЗККШ-6; б – секція кільчасто-зубчастого котка; в – борінчастий коток КБН-3; г – гладенький водоналивний коток ЗКВГ-1,4; 1 – ящик для баласту; 2 – сниця; 3 – підвіска

2.3 Комбіновані ґрунтообробні агрегати: сучасне призначення, конструкція і робота

Сучасні комбіновані агрегати об'єднують декілька операцій у один прохід — це ключова складова інтенсивних і ресурсозберігаючих технологій. Мета — зменшити число технологічних проходів, зберегти вологу, знизити енерговитрати та оптимізувати якість посівного ложа.

Функції та операції в одному проході

Розпушування/луцнення пожнивних решток;

Подрібнення і вирівнювання поверхні;

Кришіння і прикатування посівного шару;

Локалізоване внесення добрив (banding) і підготовка смуги під сівалку;

Підготовка ложа з урахуванням точного висіву та подальшої механізації.

Конструкція сучасних агрегатів

Модульна конструкція з переднім і заднім блоками (шлейф/ріппер/диски), середніми секціями культиваторних/плоскорізних елементів і задніми котками/валками; секції можуть бути швидкознімними.

Гідравлічна підресорена рама з центральною системою регулювання глибини і швидкого переведення в транспортне положення;

Можливість інтеграції сівалки, аплікатора добрив або обприскувача;

Сумісність з ISOBUS та системами GPS/RTK для синхронізації роботи і передачі даних.

Приклади сучасних рішень і їх переваги

«Європак»-подібні агрегати оновлені: легші сталі, гідравліка з регулюванням робочих органів, секційне автоматичне підсилення залежно від рельєфу;

Сучасні аналоги АГ-6 мають секційні S-стоєчні лапи з пружинною амортизацією, тандемні котки з регульованим тиском, борони роторні або пружинні з автоматичним вирівнюванням;

Комбіновані агрегати для strip-till включають робочий плоскоріз для формування смуги і задній коток для прикатування — оптимальне рішення для локалізованого внесення добрив.

Економічні та експлуатаційні аспекти

Зменшення числа проходів і використання комбінованих агрегатів скорочує витрати пального і часові витрати;

Модульність дозволяє адаптувати машину під різні культури і агротехнології;

Потреба в кваліфікованому обслуговуванні гідросистеми, редукторів, секційних підвісок і електроніки; вимога сумісності з навігаційними системами.

Безпека, екологія та технічне обслуговування

Сучасні агрегати мають захисні кожухи, автоматичні запобіжні муфти, датчики навантаження і системи аварійного виключення; рекомендується інтеграція з телеметрією для контролю стану підшипників, рівнів мастила та температури редукторів.

Екологічна перевага — зменшення ущільнення ґрунту за рахунок меншої кількості проходів та збереження органічної мульчі; при цьому важливо оптимізувати режими роботи, щоб уникнути надмірного подрібнення й підвищеного випаровування.

Короткі практичні поради для впровадження сучасних рішень

Переходити на модульні агрегати з урахуванням сумісності з ISOBUS та RTK-навігацією;

Використовувати роторні та комбіновані машини з регульованими параметрами (оберти, тиск, глибина) для адаптації до поточних умов ґрунту;

Забезпечити сервісну базу: запасні ножі, підшипники, редукторні мастила та інструменти для швидкої заміни;

Планувати експлуатацію залежно від вологості ґрунту — уникати фрезерування та інтенсивного коткування на перезволожених ділянках.

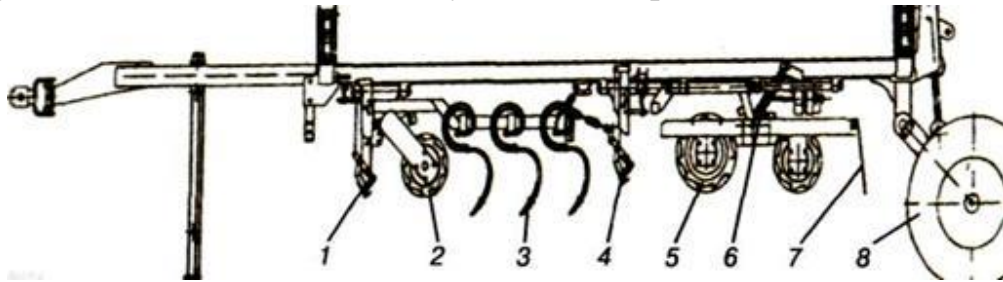


Рисунок 3 – Комбінований агрегат ББГ «Європак»: 1— передній шлейф; 2—передній коток; 3— борони; 4—задній шлейф; 5—тандемні котки; 6— підвіска; 7— пружинна борона; 8— опорні колеса

Комбінований ґрунтообробний агрегат АГ-6 (рис. 4) «БОРЕКС» (типу «Європак») — це широкозахоплювальна шарнірно-секційна причіпна машина з робочими органами, які жорстко закріплені на рухомо встановлених S-подібних стояках.

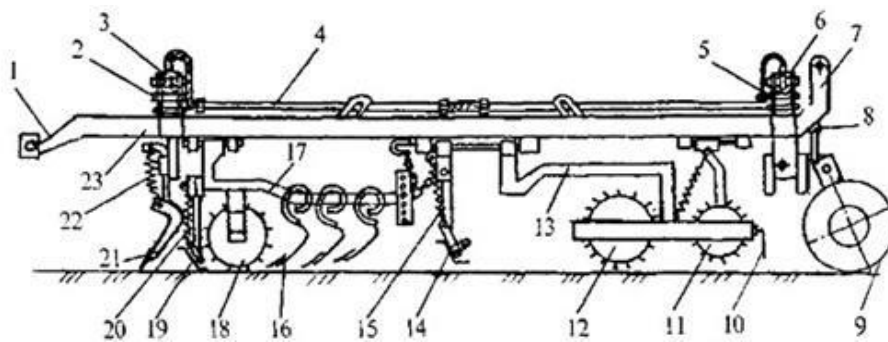


Рисунок 4 – Схема агрегату АГ-6: 1 – причіпний пристрій; 2 і 5 – пальці; 3,6,8 – гідроциліндри; 4 – маслопроводи; 7 – кронштейн; 9 – опорне колесо; 10 – зуб пружинний; 11 і 12 – котки задньої секції; 13 і 17 – підвіски; 14 і 19 – вирівнювальні бруси; 15, 20,22 – пружини; 16 – розпушувальні лапи; 18 – коток прутковий; 21 – розпушувальні зуби; 23 – основна рама

Він складається з рами, замка зчеплення, секцій робочих органів, вирівнювальних пристроїв (борони роторні й пружинні), вирівнювальної балки, механізму глибини ходу робочих органів, гідросистеми й регульованого за висотою замка для швидкого начіплювання борін, вальців, сівалки та інших

знарядь. На замовлення покупців агрегат можна комплектувати пристроєм для приєднання сівалки. Глибина обробітку — до 16 см, робоча швидкість — 10 км/год, ширина захвату — 6 м.

2.4 Висновки.

Сучасні фрези, котки і комбіновані ґрунтообробні агрегати — це високотехнологічні елементи комплексу передпосівної підготовки, адаптовані до принципів точного землеробства. Їхнє впровадження дає можливість підвищити якість посівного ложа, скоротити технологічні операції та енергозатрати, але вимагає грамотного підбору режимів роботи, застосування зносостійких матеріалів і інтеграції з системами моніторингу та управління.

У ході дослідження проведено класифікацію машин та знарядь для знищення бур'янів та розпушування ґрунту вивчено їх технологічні процеси. Таким чином, встановлено, що в даний час розрізняють ґрунтообробні знаряддя з робочими органами активного та пасивного типів, а також комбіновані машини. Виявлено, що розглянуті машини дозволяють підрізати або вичісувати коріння бур'янів тільки на глибині обробки.

При використанні розглянутих знарядь створення технологічного процесу вичісування бур'янів на мінімальній глибині обробки в різні періоди їх зростання не можливе, оскільки метою цих машин є фарбування поверхневого шару ґрунту і знищення бур'янів на ранніх стадіях їх розвитку.

В результаті аналізу роботи ґрунтообробних знарядь виявлено, що дані машини не можуть здійснювати вичісування бур'янів із ґрунту разом із коренем через конструкцію робочих органів.

РОЗДІЛ 3

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ АВТОПРИВІДНОГО СЕКЦІЙНОГО РОБОЧОГО ОРГАНУ ДЛЯ ВИЧІСУВАННЯ БУР'ЯНІВ З РОЗПУШУВАННЯМ ГРУНТУ

3.1. Конструкція автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту.

Схема розробленого автопривідного секційного робочого органу представлена на рис. 15. Конструкція автопривідного секційного робочого органу представлена рамою з двома опорними колесами (рама і опорні колеса не показані), корпусом 1 з встановленими на ньому переднім 2 і заднім 3 роторами, зміщеними один від одного, кожен з яких складається з диска 4, з ножами 5, мають форму прямокутних пластин з вирізами [30, 31]. На валах передніх та задніх роторів змонтовані приводні зірочки 6 та 7, з'єднані між собою ланцюговою передачею 8.

Працює знаряддя в такий спосіб. При русі по полю ножі передніх і задніх роторів рухаються в ґрунті на певній глибині, при цьому передній ротор оснащений зірочкою з більшою кількістю зубів, ніж задній, отже обертається з меншою кутовою швидкістю [32].

За рахунок цього створюється ефект самогальмування і ножі роторів по дну борозни рухаються по лінії, близькій до прямої. Це дозволяє вичісувати бур'яни з ґрунту разом з коренем.

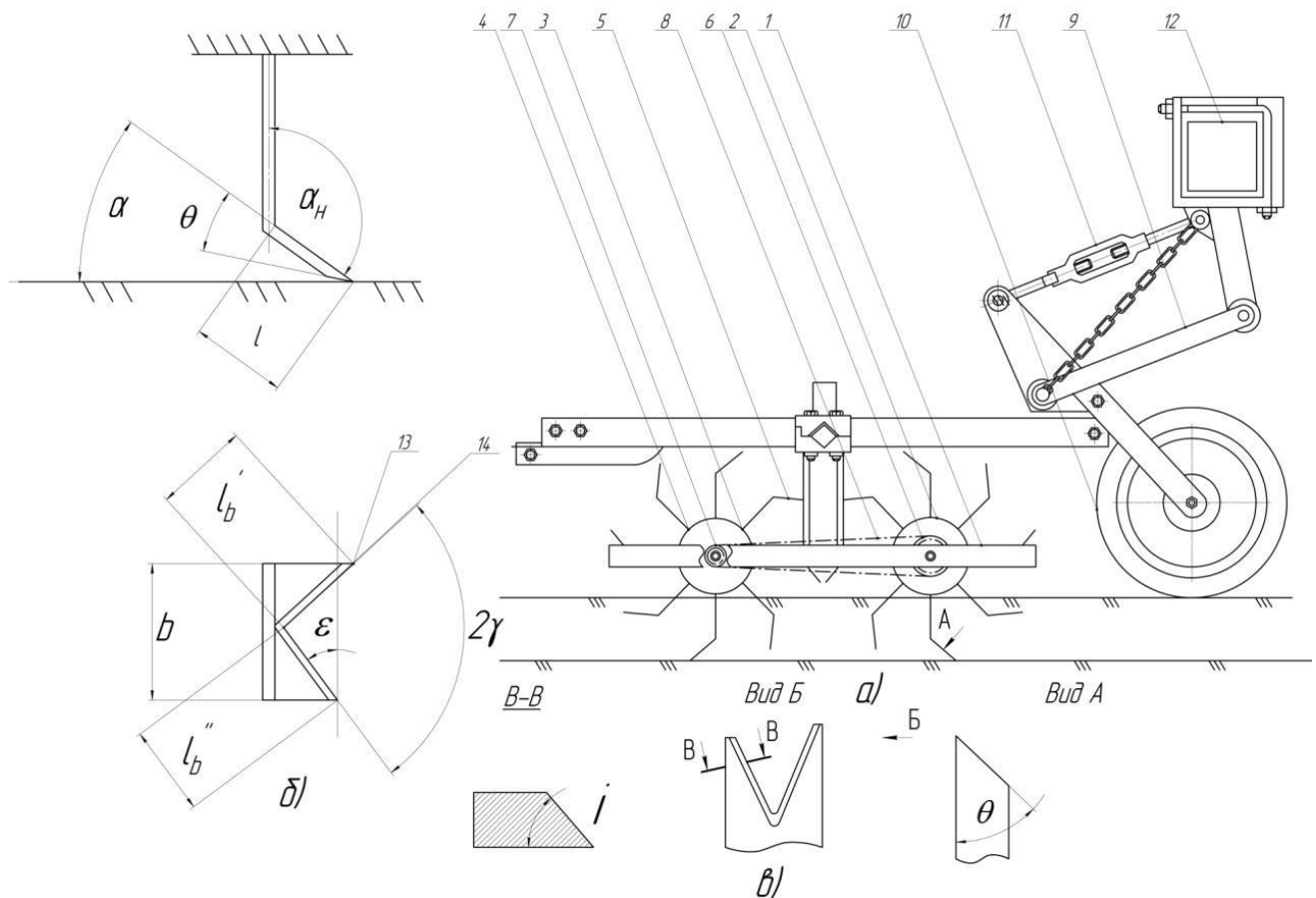


Рисунок 5 – Схема автопривідного секційного робочого органу з елементами конструкції: а) схема автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів; б) схема ножа ротора; в) схема вирізу ножа ротора; 1 – корпус; 2 – передній ротор; 3 – задній ротор; 4 – диск; 5 – ніж; 6 – зірочка переднього ротора; 7 – зірочка заднього ротора; 8 – ланцюгова передача; 9 – паралелограмний механізм; 10 – опорне колесо; 11 - гвинтова стяжка; 12 – брус; 13 – передня кромка ножа; 14 – виріз леза ножа

Технологічний процес роботи автопривідного секційного робочого органу при вході ножів переднього та заднього роторів у ґрунт представлений на рис. 16.

I. Початок руху роторів у ґрунті. Ніж переднього ротора спирається тильною частиною на поверхню ґрунту. При цьому лезо ножа заднього ротора розташовується перпендикулярно поверхні ґрунту. Леза ножів стикаються з кореневою системою бур'янів (точки A_1 та A_2). Центри роторів рухаються з переносною швидкістю, що дорівнює поступальній швидкості руху машини.

При однакових радіусах ножів, кутова швидкість обертання переднього ротора ω_1 істотно менше, ніж кутова швидкість заднього ротора ω_2 ця різниця виникає за рахунок передавального числа зубів зірочок приводу ланцюгової передачі.

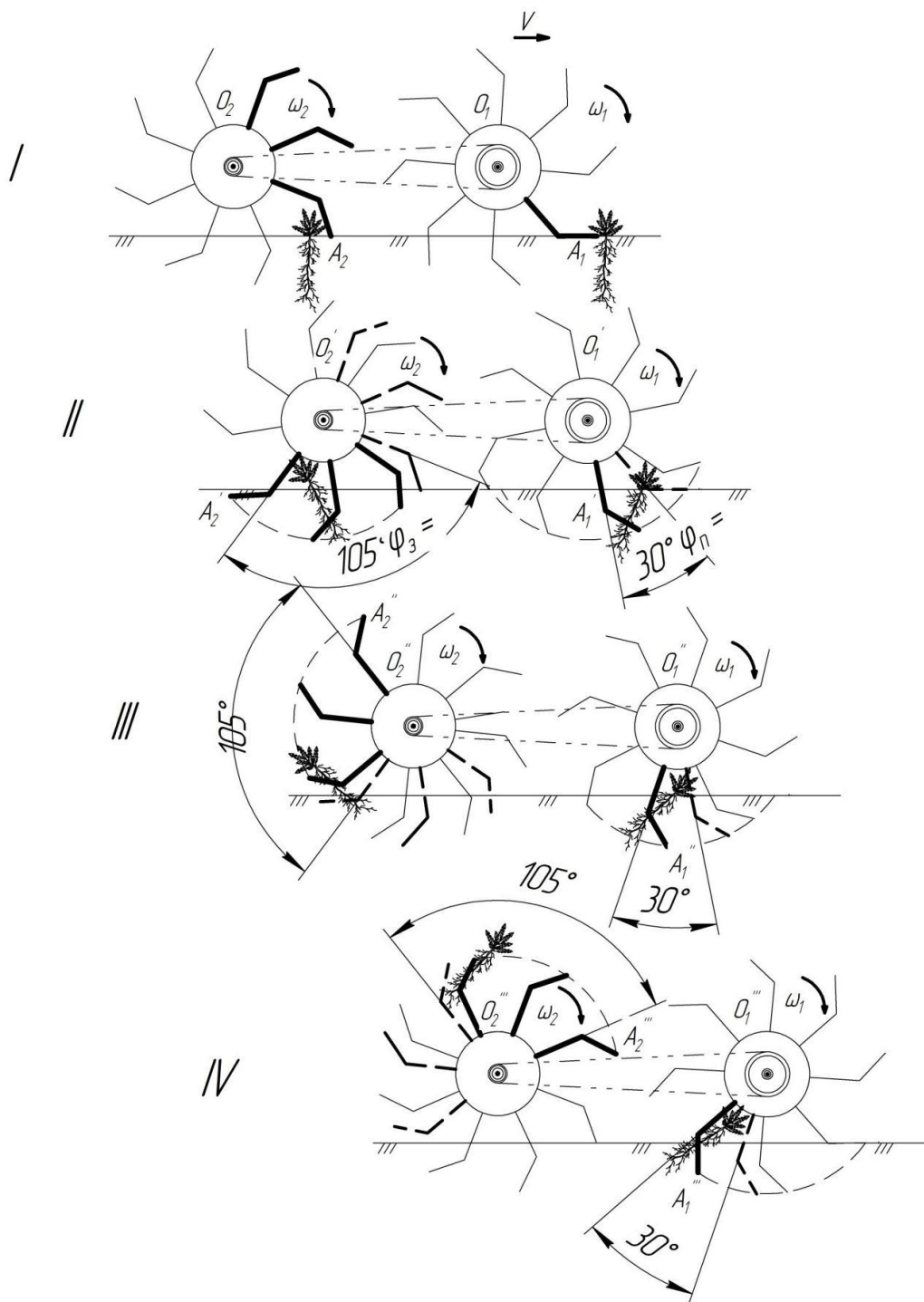


Рисунок 6 – Схема технологічного процесу роботи автопривідного секційного робочого органу

II. Захоплення коренів бур'янів. Центри роторів через певний час t_1 проходять шлях, що дорівнює Vt_1 . Ніж переднього ротора повертається на кут φ_n , а заднього φ_3 . Кут повороту ножа переднього ротора значно менше, ніж кут повороту заднього ротора. Корінь бур'янів захоплюється вирізом ножа переднього ротора і переміщається у напрямку руху машини, а заднього ротора захоплюється у

протилежний. Величина вичісування кореня ножем переднього ротора не порівнює величині заднього ротора.

III. Вичісування бур'янів. Центри роторів через той самий проміжок часу t_1 переміщуються на відстань Vt_1 , а точки лез ножів A_1' та A_2' повертаються, опиняючись у положенні A_1'' та A_2'' . Процес вичісування кореня бур'янів триває.

IV. Вилучення бур'яну з ґрунту разом із корінням і укладання їх на поверхню поля. Розглядається кінцевий етап повного циклу вичісування коренів бур'янів переднім та заднім роторами. Центри роторів перемістилися на відстань Vt_1 , зайнявши положення O_1''' та O_2''' . Ніж переднього ротора обернувся на кут φ_n , лезо ножа перебуває у точці A_1''' , тобто. на поверхні ґрунту, разом із коренем бур'яну. Ніж заднього ротора повернувся на кут φ_z , значно більший, ніж φ_n . З умови рівності довжин коренів, що вичісуються переднім і заднім роторами, у переднього працює 1 ніж, а у заднього при цьому працюють 3 ножа послідовно.

3.2 Аналітичне визначення основних параметрів роботи роторів.

Слід зазначити, що для аналізу теоретичних залежностей прийнято такі умовні припущення:

1. Вологість ґрунту при виконанні технологічного процесу вичісування бур'янів не враховувалася.
2. Фізіологічні особливості будови кореневої системи бур'янів не враховувалися.
3. Відрізки циклоїд дні борозни представлялися прямими лініями.
4. Опір кореня бур'яну при вичісуванні враховувався постійним коефіцієнтом як зусилля, віднесене до його довжини.

При роботі автоприводного секційного робочого органу передній ротор обертається з меншою окружної швидкістю, ніж задній. Відношення швидкостей: колова кінця ножа до швидкості руху агрегату – для переднього ротора:

$$\lambda_1 = \frac{u_1}{V} \leq 1 \quad \text{а для заднього:} \quad \lambda_2 = \frac{u_2}{V} \geq 1 \quad [3, 25]. \text{ Звідси вираз } \lambda \text{ для}$$

співвідношення швидкостей роторів: $\lambda_1 \leq 1 \leq \lambda_2$. Це співвідношення може бути отримано за певних конкретних умов.

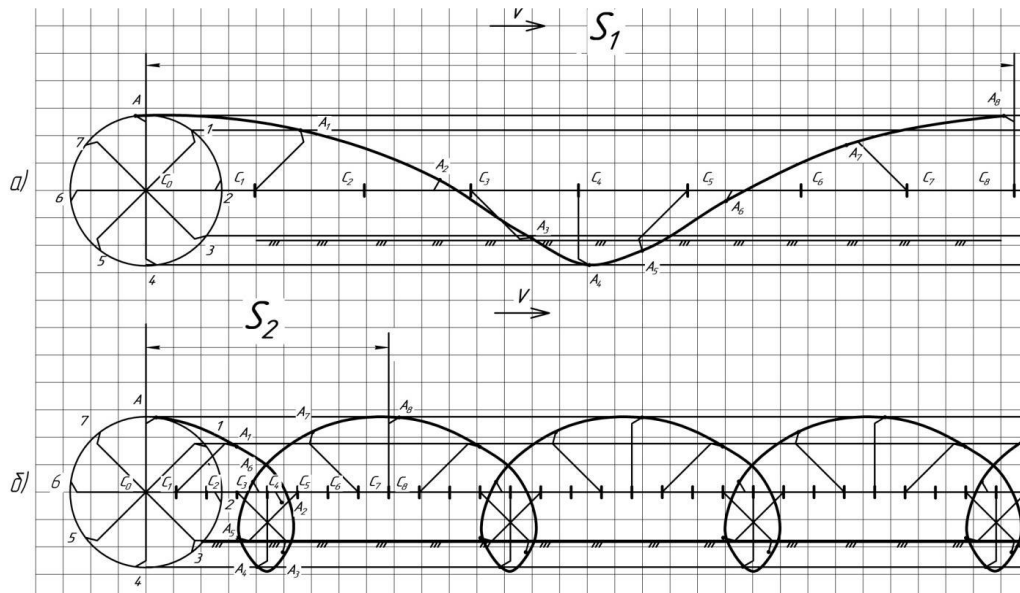


Рисунок 7 – Траєкторії руху ножів: а) переднього ротора; б) заднього ротора.

Відомо, що траєкторією руху ножа при зазначених співвідношеннях є окремий випадок трохоїди - циклоїда. У математичному вираженні траєкторія циклоїди представлена у вигляді двох параметричних рівнянь виду:

$$x = a_1 t - a_2 \sin t, \quad (3.1)$$

$$y = a_1 - a_2 \cos t, \quad (3.2)$$

де: a_1 - радіус кола, м;

a_2 - відстань від центру кола радіуса a_1 , що котиться без ковзання по осі абсцис;

t - час руху автопривідного робочого органу; при $a_2 < a_1$ циклоїда називається укороченою; при $a_2 > a_1$ - подовженою, при $a_2 = a_1$ - звичайною циклоїдою [33, 34]. У нашій роботі прийнято $a_1 = r$.

3.3 Визначення параметрів переднього ротора.

Передній ротор обертається у той самий бік, що і задній. Однак, при цьому його центр переміщається в протилежний бік, отже, заглиблення ножа забезпечується тільки за рахунок поступальної швидкості руху автопривідного робочого органу, кутів установки ножа до горизонту α , а також заднього кута заточування самого ножа θ .

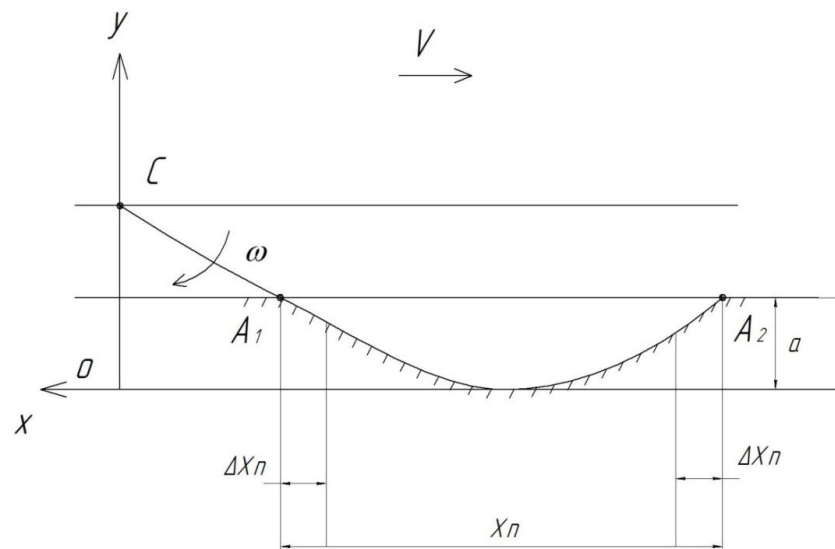


Рисунок 8 – Схема руху ножа переднього ротора: A_1 - точка входу ножа; A_2 - точка виходу ножа

Для досягнення переднім ножом заданої глибини обробки необхідно розглянути схему, представивши на ній переміщення ножа переднього ротора (рис. 8).

Умови для переднього ротора $V \geq \omega R$, $u_n = \omega R$, де u_n - це колова швидкість кінця ножа.

Щоб визначити колову швидкість, скористаємося теоретичними висновками, викладеними в теорії Листопада Г.Є. [35].

Однак для вирішення задачі в даному випадку в них не враховується колова швидкість повороту ротора ножа. Подамо схему сил, що діють на пласт ґрунту при досягненні ножом кута α до горизонту на глибині « a » обробітку ґрунту (рисунок 9).

Враховуємо, що передня грань ножа загострена так, що відсутня полиця леза. Опір, що діє на неї, дорівнює нулю [36].

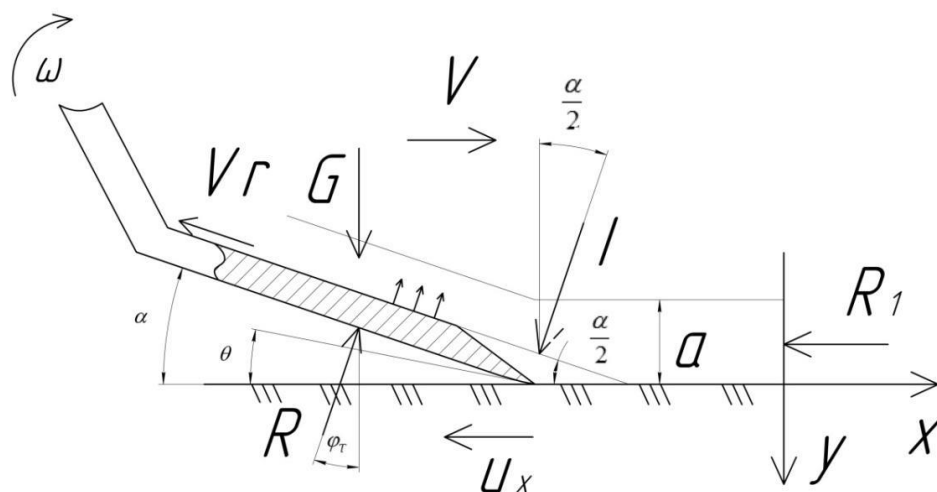


Рисунок 9 – Схема сил, які діють на пласт ґрунту

На ніж впливають реакція ґрунту R_1 ; тиск від сили інерції пласта I ; сила тяжіння пласта G ; результуючий R від елементарних нормальних сил і сил тертя від пласта на поверхню клина [37, 40].

Крім цього, необхідно врахувати, що швидкість переміщення частинок по поверхні клина Vr , а окружна швидкість ножа u_1 , швидкість руху машини $V = Vr \cos \alpha$.

У напрямку руху вектор сили R_1 паралельний осі Ox . Сила I спрямована під кутом $\alpha/2$ до осі Oy , а сила R утворює з нормаллю кут тертя φ_T . Спроекуємо зазначені сили на осі Ox та Oy :

$$\sum O_x = -R_1 - I \sin \frac{\alpha}{2} + R \sin(\alpha + \varphi_T) = 0 \quad (3.3)$$

$$\sum O_y = I \cos \frac{\alpha}{2} + G - R \cos(\alpha + \varphi_T) = 0 \quad (3.4)$$

Вирішимо рівняння (3.3) відносно R :

$$R = \frac{G}{\cos(\alpha + \varphi_T)} + \frac{I \cos \frac{\alpha}{2}}{\cos(\alpha + \varphi_T)} \quad (3.5)$$

Отриманий вираз (3.5) підставимо в рівняння (3.3). Отримуємо в результаті вираз:

$$R_1 = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) + I \left[\cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) - \sin \frac{\alpha}{2} \right] \quad (3.6)$$

Спроекуємо окремо силу R на осі Ox та Oy :

$$R_x = G \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) + I \cos \frac{\alpha}{2} \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_T) \quad (3.7)$$

$$R_y = G + I \cos \frac{\alpha}{2} \quad (3.8)$$

Сила тяжіння пласта ґрунту:

$$G = ab l \gamma_v g \quad (3.9)$$

де: a - глибина обробки, м;
 b - ширина ножа, м;
 γ_v - об'ємна вага ґрунту, кг/м³;
 l - довжина ножа, м;

g - прискорення вільного падіння, м/с^2 .

Сила I визначиться силою інерції:

$$I = -jm \quad (3.10)$$

де j – середнє прискорення від клину на пласт ґрунту, м/с^2 ,

m – маса пласту ґрунту, кг .

Середнє прискорення :

$$j = \frac{V_r - V_o}{t_2 - t_1} = \frac{V_r}{t_2 - t_1} \quad (3.11)$$

Різниця часу:

$$t_2 - t_1 = \frac{b}{V_y}, \quad V_y = V$$

$$V_l = 2V \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.12)$$

$$j = 2 \frac{V^2}{l} \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.13)$$

Тоді сила інерції пласта ґрунту дорівнює:

$$I = 2ab\gamma_v V^2 \sin \frac{\alpha}{2} \quad (3.14)$$

Однак при роботі автопривідного секційного робочого органу швидкість впливу ножа ротора на ґрунт менша на величину u_1 , де u_1 - колова швидкість переднього ротора, $u_1 = \omega_1 R$.

Раніше зазначалося, що ніж щодо машини переміщається у протилежний бік із коловою швидкістю u_1 [38]. Тоді, виходячи зі схеми (рисунок 18), отриманий вираз (3.13) набуде вигляду:

$$j = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V - u_1)^2}{l} = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V^2 - 2Vu_1 + u_1^2)}{l} \quad (3.15)$$

Так як $V = \frac{u}{\lambda}$, підставимо його значення в рівняння (3.16).

Тоді :

$$j = \frac{2 \sin \frac{\alpha}{2} (V^2 - \frac{u_1^2}{\lambda} + u_1^2)}{l} \quad (3.16)$$

Результат:

$$I = ab\gamma_v 2 \sin \frac{\alpha}{2} (V^2 + u_1^2 (1 - \frac{2}{\lambda})) \quad (3.17)$$

$$R_x = ab\gamma_v \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\tau) [gl + V^2 + u_1^2 (1 - \frac{2}{\lambda})] \quad (3.18)$$

З отриманого виразу визначаємо швидкість V , при цьому враховуючи, що вона дорівнює:

$$V = \left\{ \frac{R_x - ab\gamma_v \operatorname{tg}(\alpha + \varphi_\tau) gl - u^2 (1 - \frac{2}{\lambda})}{ab\gamma_v} \right\} \quad (3.19)$$

3.4 Визначення параметрів заднього ротора.

Принцип роботи заднього ротора близький до роботи ґрунтової фрези, у якій ніж здійснює рух за подовженою циклоїдою, а передній ротор рухається за укороченою [39].

Крім кришення пласта ґрунту, головною відмінністю роботи ножа ротора від ножа барабана фрези, є захоплення та вичісування бур'янів вирізом у середній частині ножа.

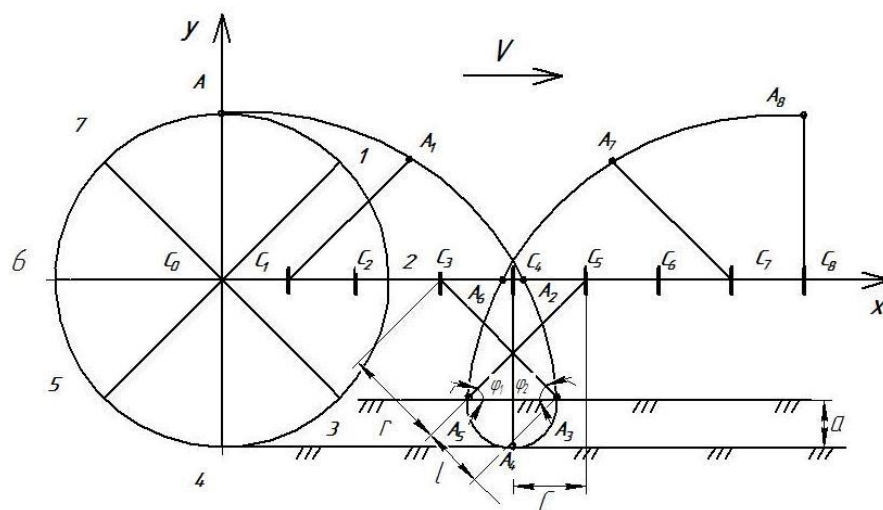


Рисунок 10 – Траєкторія руху ножа заднього ротора r – радіус диска, м; l – довжина ножа, м; φ_1 та φ_2 – кути повороту ножа, градус; a – глибина обробки, м

Тоді координати точки A_3 (рис. 20) можна буде представити в параметричному вигляді:

$$x = C + R\varphi_1 \quad (3.20)$$

де: C - відстань, пройдена центром.

$$y = R \sin \varphi_1 \quad (3.21)$$

Якщо продиференціювати отримані рівняння (3.20) та (3.21), то отримаємо вирази швидкостей:

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V + \omega(r + l) \sin \omega t \quad (3.22)$$

$$\frac{dy}{dt} = (r + l)\omega \cos \omega t \quad (3.23)$$

де ω – кутова швидкість руху ротора.

Якщо представити, що $(r + l) = R$, то вирази (3.22) та (3.23) можна переписати у вигляді:

$$\frac{dx}{dt} = V_x = V + \omega R \sin \omega t \quad (3.24)$$

$$\frac{dy}{dt} = R\omega \cos \omega t \quad (3.25)$$

Для визначення відношення « λ_2 » заднього ротора необхідно врахувати деяку умову. Вектор швидкості машини V спрямований по лінії руху трактора, а проекція вектора окружної швидкості ножа на вісь Ox буде направлена в протилежний бік. Тоді вектор абсолютної швидкості буде спрямований вертикально донизу. Крім того, оскільки швидкість машини не збігається з вектором колової швидкості ножа, то у виразі (3.26) швидкість машини приймемо зі знаком «-». Ця умова забезпечує вертикальне входження ножа у ґрунт з мінімальним зусиллям, порівняно з іншими варіантами.

Тоді якщо перший вираз прирівняти 0, то отримаємо:

$$-V + \omega R \sin \omega t = 0 \quad (3.26)$$

таким чином:

$$\sin \omega t = \frac{V_m}{\omega R} \quad (3.27)$$

тоді

$$\sin \omega t = \frac{1}{\lambda} \quad (3.28)$$

$$\omega t = \arcsin \frac{1}{\lambda} \quad (3.29)$$

Далі необхідно визначити відрізок шляху, який обробляє один ніж за повного обороту ротора. Схему його знаходження представимо (рис. 21):

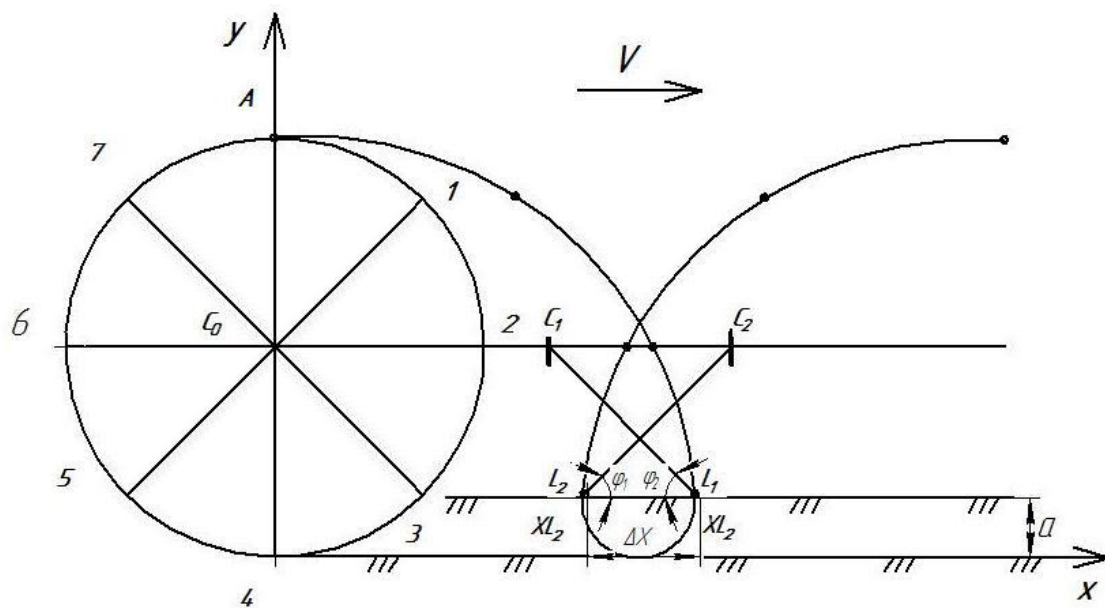


Рисунок 11 – Кінематична схема визначення довжини відрізка при повному обороті одного ножа

$$\Delta x = x_{L2} - x_{L1} \quad (3.30)$$

Визначимо положення точки x_{L1} . Воно буде представлено виразом:

$$x_{L1} = R \cos \varphi_1 + V t_0 \quad (3.31)$$

де: V - швидкість машини, м / с;

φ_1 - кут повороту ножа від горизонтальної осі при його вході в ґрунт.

На підставі виразу (3.27):

$$\varphi_1 = \omega t_1 = \arcsin \frac{1}{\lambda} \quad (3.32)$$

$$x_{L1} = R \cos \arcsin \frac{1}{\lambda} + Vt_0 \quad (3.33)$$

Кут повороту ножа, при якому він виходить із ґрунту $\varphi_2 = \frac{\pi}{2} + \varphi_1$, слід враховувати, що точка входу ножа та його виходу знаходяться на одній горизонтальній осі, тобто:

$$\varphi_1 = \varphi_2$$

$$x_{L2} = R \cos\left(\frac{\pi}{2} + \varphi_2\right) + Vt_1 \quad (3.34)$$

Таким чином:

$$x_{L2} = -R \sin \varphi_2 = -R \sin \arcsin \frac{1}{\lambda} + Vt_1 \quad (3.35)$$

Для виразу (3.33), враховуючи рівняння (3.28), прийнемо:

$$\cos \varphi_1 = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi_1} = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (3.36)$$

$$x_{L1} = R \left(\frac{1}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) + Vt_0 \quad (3.37)$$

Спростимо вираз (3.37):

$$x_{L1} = \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} + Vt_0 \quad (3.38)$$

Тоді Δx_3 буде дорівнювати:

$$\Delta x_3 = -R \sin \arcsin \frac{1}{\lambda} + Vt_1 - \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} - Vt_0 \quad (3.39)$$

В отриманій формулі шлях, пройдений машиною за час t_1 не впливає на довжину ділянки, що обробляється Δx_3 , тому що швидкість є незмінною величиною. Отже, в кінцевому вигляді Δx_3 дорівнюватиме:

$$\Delta x_3 = R \sin \arcsin \frac{1}{\lambda} + \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \quad (3.40)$$

Вираз (3.40) дозволяє визначити довжину відрізка обробленої поверхні одним ножем за оборот ротора.

3.5 Визначення довжини відрізка ґрунту, що обробляється ножем переднього ротора.

Для визначення відрізка ґрунту, що обробляється ножем переднього ротора, розглянемо схему його роботи. При цьому необхідно враховувати, що обертання ротора відбувається за годинниковою стрілкою, однак при досягненні ножем кута входу в ґрунт « α » він починає заглиблюватися. Поступальна швидкість машини значно вища за колову швидкість кінця ножа ротора [40, 45].

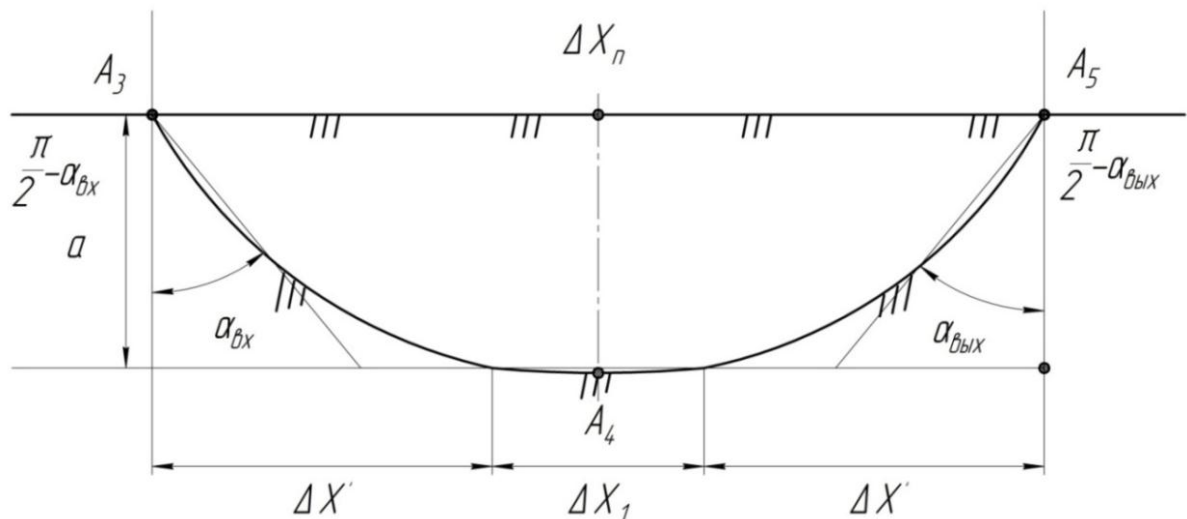


Рисунок 12 – Кінематична схема обробки ґрунту ножем переднього ротора

Кути входу та виходу ножа з ґрунту не суттєво відрізняються один від одного:

$$\alpha_{\text{вх}} \approx \alpha_{\text{вих}} \cong \alpha$$

Таким чином:

$$\Delta x_n = \Delta x_1 + 2\Delta x' \quad (3.41)$$

$$\Delta x' = a \operatorname{tg} \alpha \quad (3.42)$$

Технологічний процес вичісування бур'янів переднім та заднім роторами можливий лише за умови:

$$\Delta x_n = i \Delta x_3 \quad (3.43)$$

де: i - передатне відношення між зірочками переднього та заднього роторів дорівнює

$$i = \frac{z'_n}{z'_3}$$

Таким чином ми визначимо довжину відрізка ґрунту, який обробляється ножем переднього ротора:

$$\Delta x_n = i \left(R \sin \arcsin \frac{1}{\lambda} + \frac{R}{\lambda} \sqrt{\lambda^2 - 1} \right) + 2atga \quad (3.44)$$

3.6 Висновки.

Провівши теоретичні дослідження технологічних та конструктивних параметрів автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушенням ґрунту можемо зробити такі висновки:

1. На основі аналізу відомих конструкцій, машин та знарядь для знищення бур'янів з розпушуванням ґрунту розроблено конструкцію робочого органу, здатного вичісувати бур'яни з ґрунту в різні періоди їх розвитку.

2. Отримано аналітичну залежність для визначення поступальної швидкості руху автопривідного секційного робочого органу (3.19). За результатами розрахунків значення швидкості руху агрегату в межах 2,5...3,5 м/с.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Служба з охорони праці в господарстві (організаційна структура та повноваження)

Служба охорони праці (СОП) — обов'язковий елемент організації виробництва, відповідальна за реалізацію комплексних правових, організаційно-технічних і санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на безпечну експлуатацію техніки та проведення технологічних операцій, запобігання нещасним випадкам і аваріям. У залежності від масштабу господарства СОП функціонує як окремий підрозділ з керівником та фахівцями, або як група спеціалістів/інженер ОП (може бути за сумісництвом), але її повноваження та відповідальність мають бути формально затверджені власником або керівництвом і закріплені Положенням про службу охорони праці.

Основні функції та повноваження СОП:

- розробка й впровадження політики з охорони праці, локальних наказів, інструкцій (SOP) та регламентів для всіх видів робіт (особливо для операцій з поверхневого обробітку ґрунту);

- проведення оцінки ризиків на робочих місцях, формування карт ризиків і за результатами — планування превентивних заходів;

- обов'язкові інструктажі (вступні, первинні на робочому місці, повторні, позапланові), навчання з надання першої допомоги та евакуації; перевірка знань працівників;

- контроль дотримання вимог безпеки під час експлуатації машин, механізмів, навісного устаткування, систем внесення ЗЗР і добрив;

- видача приписів щодо усунення небезпек; повне право зупиняти роботи при виявленні загроз життю чи здоров'ю (приписи є обов'язковими до виконання);

- організація медичних оглядів та профілактики для працівників, що контактують з шкідливими чинниками (шкідливі хімічні речовини, шум, вібрація);

- координація з технічною службою щодо ТО, ремонту та модернізації техніки з урахуванням вимог безпеки;

- ведення обліку нещасних випадків, розслідування, аналіз причин і розробка заходів для запобігання повторенню;

- забезпечення ППЕ, засобів первинної протипожежної безпеки, дезстанцій, постів миття очей, ізоляції складів ЗЗР.

Організаційні вимоги

СОП підпорядковується безпосередньо керівнику господарства; керівник СОП має рівень оплати і статус, порівняний із керівниками основних виробничо-технічних служб, щоб забезпечити незалежність і авторитет.

Положення про СОП повинно визначати структуру, обов'язки, процедури взаємодії з іншими службами (агрономія, технічна служба, логістика), а також механізм реагування на аварійні ситуації.

Відповідальність керівників структурних підрозділів за виконання приписів СОП — письмова та облікова; скасування припису можливе лише посадовою особою вищого рівня з фіксацією мотивів.

4.2 Виробничий травматизм та ризики при операціях поверхневого обробітку ґрунту

Характерні небезпеки Поверхневий обробіток ґрунту передбачає застосування тракторних МТА з навісними/причіпними агрегатами (культиватори, котки, дискові борони, комбіновані агрегати, фрези). Основні джерела ризику:

механічні: захоплення, різання, затискання рухомими частинами; перекидання трактора/агрегату; удар від відлетілих каменів чи уламків;

технічні: експлуатація несправної техніки (гальма, РЗП, гідросистема, редуктори), неконтрольовані вібрації, несправні захисні щитки;

ергономічні та мікрокліматичні: перевантаження операторів, підвищений шум, вібрація, перегрів у кабіні, запиленість;

хімічні та екологічні: контакт із залишками ЗЗР на рослинних рештках, паливно-мастильними матеріалами при заправці/ремонті;

організаційні: неналежне інструктування, відсутність процедур LOTO, робота без супроводу на віддалених полях, порушення ПДД під час руху по дорогах і між площами.

Аналіз причин травматизму (сучасний акцент) Статистично найбільша частка травм припадає на механізаторів; основні причини — експлуатація несправних агрегатів, порушення технологічних процедур під час налаштування/ремонту (відсутність блокувань і LOTO), неповноцінний інструктаж і недотримання ППЕ. Додатково сучасний фактор — недостатня цифрова документація технічного стану та відсутність телеметричного моніторингу, що ускладнює планування ТО.

Рекомендовані заходи зниження ризиків

Систематична оцінка ризиків для кожної операції (карта ризиків), з фіксацією ймовірності та наслідків; пріоритетне виконання заходів з високим ризиком.

Технічні: забезпечення справності гальм, рулевого; встановлення огорожень

на рухомі деталі; установка захисних заслінок, блокувальних муфт і датчиків обертання/нагрузки; застосування автоматичних запобіжників при заїданні; регулювання притискного зусилля котків і глибини культивуації в електронному режимі.

Організаційні: впровадження процедур LOTO при ремонті та регулюванні; робочі інструкції «перед виїздом» і «після повернення»; супровід молодих працівників; заборона на роботу вночі без адекватного освітлення та супроводу; чіткий порядок дій під час обробітку ділянок з великою кількістю каміння чи залишків.

Навчання: регулярні (щоквартальні) практичні тренінги з безпечного обслуговування агрегатів, робота з LOTO, відпрацювання дій при перекиданні і пожежі, надання першої допомоги.

Інструменти моніторингу: впровадження телеметрії (датчики навантаження, тахометр, GPS, датчики перекидання), журналів ТО в електронному вигляді, систем KPI для контролю виконання ТО і інструктажів.

PPE та гігієна: виділення сертифікованих касок, захисного взуття, рукавичок, захисних окулярів, протипилових респіраторів та навушників; забезпечення місць для миття рук, душових і мінзон при контакті з ЗЗР.

4.3 Безпека праці при роботі на машинно-тракторних агрегатах під час поверхневого обробітку

Організаційні правила перед початком робіт

Щоденний «чек-ліст» оператора перед виїздом: огляд техніки (гальма, світлотехніка, шарніри, кардан, РЗП), наявність інструментів, аптечки, вогнегасника, ППЕ; фіксація в електронному журналі.

Допуск до роботи лише персоналу з підтвердженим інструктажем та медичними оглядами; записи про допуск зберігаються в СОП.

Планування робіт з урахуванням погоди (вітер при обприскуванні, ризик грози/гряди дощу), стану ґрунту (унікати роботи на переувлажнених ділянках), маршруту руху та зон підвищеного ризику (канави, яри, схили).

Безпечна експлуатація агрегатів

Заборонено: регулювати, очищати або ремонтувати робочі органи при працюючому двигуні або підключеному валу відбору потужності; сходити/залазити на раму агрегату під час руху; стояти на знарядді під час роботи; виконувати ручне очищення рухомих частин без інструментів-віджимів/пінцетів.

LOTO: перед будь-яким ремонтом чи регулюванням необхідно відключити

двигун, вивести важіль ВВП у нейтральне положення, поставити упори, заблокувати гідросистему і вивісити попереджувальні таблички; ці дії контролює відповідальний механік та фіксує в журналі.

Перевезення: агрегати в транспортному положенні фіксуються гідравлічно і механічно; освітлення і сигнали мають бути справними; швидкість руху по дорогах регламентується (врахувати масу і габарити).

Перекидання: застосовувати захисні рол-кеги/кабіни ROPS, встановлювати ремені безпеки; організувати тренінги з дій у разі перекидання; уникати роботи на крутих схилах та підкопаних місцях.

Роботи з передпосівного і міжрядного обробітку

Регулювання глибини і притискного тиску виконувати на стоячому тракторі в парку; застосовувати електронні системи з дистанційним регулюванням для корекції в полі.

Працювати на рекомендованих швидкостях; при виявленні сторонніх предметів (каміння, метал) зупинити рух, заглушити двигун, зняти напругу з ВВП та виконати очищення у встановленому порядку.

Використовувати захисні щитки, фартухи, скрепери для зменшення викиду ґрунту і пилу; при високому рівні пилу застосовувати респіратори.

Технічне обслуговування і ремонт

ТО виконувати згідно регламенту виробника та журналу; застосовувати оригінальні витратні матеріали або сертифіковані аналоги; фіксувати всі ремонти у цифровому журналі з фотофіксацією.

У шиномонтажі, підшипниках і редукторах застосовувати захисні щитки, використовувати домкрати з опорними підстава-ми; заборонено підпирати машину людьми.

Систематична діагностика гідросистеми на предмет протікань і перенапруг; встановлення датчиків рівня та тиску для раннього виявлення несправностей.

Пожежна безпека

Оснащення тракторів і агрегатів вогнегасниками (відповідні до класу пожеж), наявність і регулярна перевірка пожежних щитів на полі; заправочні майданчики з лотками і системою відведення розливів пального.

Заборона куріння на полі під час жнив або роботи біля агрегатів із нагрітими поверхнями; очищення випускних труб і глушників від рослинних решток.

Мікроклімат, ергономіка і здоров'я працівника

Кабіни обладнуються кондиціонерами/опалювальною системою, фільтрами для зниження пилу, шумоізоляцією, амортизованими сидіннями і регульованими органами керування; застосування тонованого скла або сонцезахисту для зниження теплового навантаження.

Впроваджувати графіки роботи та відпочинку для уникнення перевтоми;

забезпечити питну воду, тіні/перерви в жарку пору.

Медичні огляди, вакцинації (за потреби), програми контролю за вібраційним і шумовим впливом, профілактика опіків і інфекційних ризиків при контакті з рослинними рештками.

Контроль, моніторинг та КРІ

Система контролю: цифрові журнали ТО, телеметрія агрегатів (виявлення перевантажень, аномалій), моніторинг дотримання чек-лістів.

КРІ для оцінки безпеки: кількість нещасних випадків на 100 працівників (ціль — 0), відсоток працівників з актуальними інструктажами (ціль — 100%), час простоїв через несправності техніки (ціль — зниження на 20%/рік), виконання приписів СОП у визначені строки (ціль — 100%).

Регулярні аудити (місячні внутрішні, сезонні зовнішні) з аналізом причин інцидентів і впровадженням коригуючих заходів.

Аварійні плани та перша допомога

Розробити і тренувати аварійні плани: дії при перекиданні, при ДТП, при розливах ПММ або ЗЗР, при пожежі, при травмах; вказати відповідальних, алгоритми виклику швидкої/пожежників і розташування аптечок/носілок.

Забезпечити на полі аптечки першої допомоги зі стандартним набором, переносні кисневі балони на механічній майстерні, носилки в кожній бригаді.

Висновок

Організація охорони праці при операціях поверхневого обробітку ґрунту повинна поєднувати чітку організаційну структуру СОП, системний підхід до оцінки ризиків, технічні заходи модернізації агрегатів, суворі процедури ЛОТО, регулярне практичне навчання персоналу та впровадження цифрових систем моніторингу. Тільки комплексне виконання цих заходів забезпечить зниження травматизму, підвищення безпеки праці та ефективності виробництва. Якщо потрібно, підготую типові інструкції (чек-лісти) для операторів тракторів, механіків та бригад на конкретні операції поверхневого обробітку.

РОЗДІЛ 5

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Дослідимо економічну ефективність розробки а саме використання автопривідного робочого органу для вичісування бур'янів.

При цьому основу ефективності впровадження сільськогосподарських машин в аграрне виробництво формують техніко-економічні критерії їх використання, порівняно з агрегатами-аналогами, що мають найбільше поширення [42].

Конкурентні переваги, а відтак і результативність застосування автопривідного робочого органу для вичісування бур'янів визначаються, виходячи з її основного призначення – суцільної обробки полів, з метою знищення бур'янів, а також міжрядного обробітку ґрунту при догляді за посівами сільськогосподарських культур. У межах виділеної технологічної операції визначено машини-аналоги, що дозволило обґрунтувати техніко-економічні переваги дослідного сільськогосподарського агрегату (табл. 5.1).

Виходячи з даних таблиці, було визначено найбільш явні недоліки агрегатів-аналогів, серед яких виділено:

- відсутність можливості вичісування бур'янів (БІГ-3А);
- використання методу підрізання для боротьби з бур'янами, що при боротьбі з коренеотростковими бур'янами надалі дає великі за площею сходи, більш раннє проростання бур'янів після обробки.

В результаті дослідження виявлено, що до основної конкурентної переваги доцільно віднести збільшення періоду проростання бур'янів у 1,3-3,5 рази. Зазначена перевага забезпечує скорочення кількості обробок та економію палива, що забезпечує економічний ефект.

Подані розрахунки свідчать про суттєвий економічний ефект від застосування автопривідного робочого органу для вичісування бур'янів, величина якого визначається економією додаткових витрат і варіює на 1 га, при порівнянні з сільськогосподарськими машинами БІГ-3А та КПС-4 від 280 до 372 грн.

Зниження витрат на здійснення окремих технологічних операцій впливає на величину розрахункового прибутку за основними товарними культурами та визначає величини економічних ефекту та ефективності їх обробітку [43].

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні переваги автопривідного секційного робочого органу для вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту

Показники	Назва с/г агрегатів			Автопривідний робочий орган для вичісування бур'янів	Порівняння показників
	Культи-ватор КПС-6	Борона БСО-4А	Культи-ватор КПС-4		
1	2	3	4	5	6
Ширина захвату, (м)	4,0	3,0	4	1,0	-
Робоча швидкість, (км/год)	до 9	9...11	до 9	8...12	-
Продуктивність, (га/год)	2,8...3,2	2,1...2,5	1,9...2,5	2,1...2,7	-
Продуктивність за зміну, (га)	21	17	16	19	-
Глибина обробки, (см)	5...12	4...6	6...12	2...8	-
Витрати на паливо, (л/га)	3-4	4-4,5	4-5	3-4	-
Тяговий опір, (кН/м)	2,5	0,9	2,5	1,23	на 1,5-2 раз менше (економія палива)
Період повторного (ч) проростання бур'янів (доба)	100...150 (7...8)	140...200 (6...8)	150...200 (7...8)	250...350 (12...14)	В 1,3-3,5 раз більше (економія палива)
Кількість вичесаних бур'янів (%)	10...15	15...20	15...20	90...94	В 5-10 раз більше (економія палива)
Кратність обробки	6-8	3-4	3-4	2-3	В 2-3 раз менше (економія палива)

Таблиця 5.2 - Техніко-економічні параметри обробки ґрунту з розрахунку на 1 га, грн. (суцільна культивация парів)

Показники	Варіанти по технічній операції: суцільна культивация		
	КПС-4	БІГ-3 А	Автопривідний робочий орган для вичісування бур'янів
Ціна 1 л палива,(грн)	28,5	28,5	28,5
Витрати палива, (л/га)	4	4,5	4
Експлуатаційні витрати всього,(з урахуванням кратності обробки парів)	800	750	650
Оплата праці	150	200	130
Амортизация	83	90	75
Ремонтний фонд	60	65	55
ПММ	114	128,25	114
Економія додаткових витрат на 1 га, (грн)	-	-	В порівнянні з КПС-4 – 372,00

Таким чином, конкретний приклад реалізації потенціалу технічного переоснащення свідчить про високу ефективність впровадження нових розробок.

ВИСНОВКИ

1. При виконанні аналізу існуючих знарядь та перспективних машин для знищення бур'янів з розпушуванням ґрунту, проведено їх класифікацію. Внаслідок чого виявлено, що більшість сучасних машин призначені для боротьби з бур'янами методом підрізання, а знаряддя, призначенням яких є вичісування бур'янів, не дозволяють боротися з ними з мінімальними витратами та в різні періоди їх розвитку.
2. Теоретичні дослідження автопривідного робочого органу, дозволили визначити залежності його параметрів від виду бур'янів, при виконанні технологічного процесу вичісування бур'янів з розпушуванням ґрунту. Розрахунок за даними залежностями дозволив отримати такі значення: швидкість руху агрегату – 2,5...3,5 м/с, загального опору робочого органу – 1,3...1,72 кН/м.
3. Економічна ефективність досягається за рахунок зменшення кількості обробок поля, і в порівнянні з традиційною технологією боротьби з бур'янами становить 372 грн/га.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Посібник. Машина для обробітку ґрунту та сівби / За ред. Кравчука В.І., Мельника Ю.Ф. – Дослідницьке: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого. – 2009. – 288 с.
2. Дубровін В.О., Гуков Я.С., Єсепчук М.І. Напрямки розвитку механізації рослинництва // Вісник аграрної науки. – 2000. - №1. С.58-62
3. Цепляєв, А.М. Оптимізація параметрів технологічного процесу поверхневого обробітку ґрунту роторним автоприводним агрегатом [Текст] / О.М. Цепляєв // Известия Нижньоволзького агроуніверситетського комплексу: наука та вища професійна освіта. - 2012. - №1 (25). - С. 160 ... 164.
4. Машина для обробітку ґрунту та внесення добрив. Навчальний посібник для студентів агротехнічних спеціальностей. / Сало В.М., Лещенко С.М., Лузан П.Г., Мачок Ю.В., Богатирьов Д.В. – Х.: Мачулін, 2016. – 244 с.: іл.
5. Головчук А.Ф. Машина сільськогосподарські / А.Ф. Головчук, В.І. Марченко, В.Ф. Орлов. - К.: Грамота, 2005. – 575 с.
6. Багиров Б., Искендерзаде Э. Гидрофикация сельскохозяйственных машин. - Germany, Hanover: European academy of natural sciences press. 2017. 268 с.
7. Атлас основних видів бур'янів України [Текст]: [учеб. посібник для вузів] / В.М. Шептухів [та ін]. - М.: Колос, 2009. - 192 с. : [іл.] – (Підручники та навчальні посібники для студентів вузів). - ISBN 978-5-9532-0609-9: 583,00.
8. Довідник агронома Нечорноземної зони [Текст]/За ред. Г.В. Гуляєва. - 2-ге вид., Дод. та перероб. - М.: Колос, 1980. - 576 с.
9. Гідравліка і гідропривод: довідник / В.Г. Федоров, Н.С. Мамелюк, О.І. Кепко, О.С. Пушка; за ред. В.Г.Федорова. Умань: Видавничо- поліграфічний центр «Візаві», 2017. – 135 с.
10. Гідропривод сільськогосподарської техніки: Навчальне видання / О.М. Погорілець, М.С. Волянський, В.Д.Войтюк, С.І. Пастушенко; За ред. О.М. Погорільця. - К.: Вища освіта, 2004. 368 с.: іл.
11. Войтюк Д. Г. Сільськогосподарські машини; підручник [2-е вид.] / Д. Г. Войтюк, Г. Р. Гаврилюк. – Київ : Каравела, 2008. – 552 с.
12. Пушка О.С., Войтік А.В., Кравченко В.В., Кутковецька Т.О. Новітні енергетичні засоби та сільськогосподарські машини: підруч. / О.С. Пушка, А.В. Войтік, В.В. Кравченко, Т.О. Кутковецька. – Умань: Видавець «Сочінський М.М.», 2018.–244 с.
13. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. — К.: Вища освіта, 2004. — 544 с.; іл.
14. Експлуатація машин та обладнання: Навчальний посібник / Ружицький М.А. та ін. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 617 с.

15. Мельник І.І. Оптимізація управління машинно-тракторним парком / І.І. Мельник, В.П. Бабій, В.В. Марченко та інші. – К.: НАУ, 2000. – 38 с.
16. Мельник І.І. Оптимізація комплексів машин і структури машинного парку та планування технічного сервісу / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, В.В. Марченко та інші. – К.: НАУ, 2001. – 96 с.
17. Практикум з машиновикористання в рослинництві А.С.Лімонт, І.І.Мельник, А.С.Маличовський та ін. за ред. І.І.Мельника К. Кондор, 2004 - 282 с.
18. Працеохоронні засади у схемах, таблицях і графіках: Посібник / Укл. Войналович О.В. – К.: Основа, 2009. – 88 с.
19. Войналович О.В. Концепція розроблення системи відстеження потенційних небезпек в АПК / О.В. Войналович, В.О. Шеремет, М.О. Железняк // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. – К., 2010. – Вип. 144, ч. 2. – С. 100–106.
20. Мельник І.І. Проектування технологічних процесів у рослинництві: Навчальний посібник / І.І. Мельник, В.Д. Гречкосій, С.М. Бондар; За ред. І.І. Мельника. – Ніжин: ТОВ “Видавництво Аспект-Поліграф”, 2005. – 192 с.
21. Виноградов, В.І. Взаємодія ротаційних робочих органів із ґрунтом [Текст] / В.І. Виноградов, Ю.С. Леонтєв // Трактори та с.-г. машини. - 1968. - №9. - С. 29 ... 31.
22. Далін, А.Д. Ротаційні ґрунтообробні та землерийні машини [Текст] / А.Д.Далін. - М.: Машгіз, 1950. - 255 с.
23. Матяшин, Ю.І. Розрахунок та проектування ротаційних ґрунтообробних машин [Текст] / Ю.І. Матяшин, І.М. Грінчук, Г.М. Єгоров. - М.: Агропромиздат, 1988. - 176 с.
24. Адлер, Ю.П. Планування експерименту при пошуку оптимальних умов [Текст]/Ю.П. Адлер, Є.В. Маркова, Ю.В. Грановський. - Вид-е друге, перероб. та дод. - М.: Наука, 1976. - 279 с.
25. Федоренко, В.Ф. Інновації у виробництві та використанні сільськогосподарської техніки у світі [Електронний ресурс] / Ф.В. Федоренко; ДУ "Ставропольський сільськогосподарський інформаційно-консультаційний центр". Інформаційний бюлетень №11, 2009
26. Кудзаєв, А.Б. Машина для дослідження тягового опору ґрунтообробних робочих органів [Текст]/О.Б. Кудзаєв, Т.А. Уртаєв, А.Е. Цгоев та ін. / / Вісті Горського державного аграрного університету. - 2010. - Т. 47. №.1. - С. 172 ... 178.