

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

механіко-технологічного

_____ Братішко В.В.

«__» _____ 2025 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

сіськогосподарських машин та
системотехніки ім. акад. П. М. Василенка

_____ Гуменюк Ю.О.

«__» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему «Обґрунтування параметрів системи автоматичної корекції траєкторії руху культиватора для міжрядного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно»

Спеціальність - 208 «Агроінженерія»

Освітня програма - ТТР

Орієнтація освітньої програми - освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

К.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Сівак І.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Волянський М.С.

(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Грищук В.П.

(ПІБ студента)

КИЇВ – 2025

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Механіко-технологічний факультет

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

сільськогосподарських машин та

системотехніки ім. акад. П. М. Василенка

к.т.н., доцент _____ **Гуменюк Ю.О.**

«__» _____ 2025 р.

З А В Д А Н Н Я

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
ЗДОБУВАЧУ**

Грищуку Володимирі Павловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність - 208 «Агроінженерія»

Освітня програма - ТТР

Орієнтація освітньої програми - освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи - «Обґрунтування параметрів системи автоматичної корекції траєкторії руху культиватора для міжрядного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «13» листопада 2024 р.
№ 2038 «С».

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру - 2025 р. 11. 01.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи:

- агротехнічні вимоги до міжрядного обробітку кукурудзи на зерно;
- технічні характеристики культиваторів для міжрядного обробітку кукурудзи на зерно;
- системи автоматичної корекції руху культиватора для міжрядного обробітку кукурудзи на зерно.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Порівняльний аналіз роботи агрегатів із різними системами руху культиватора для міжрядного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно.
2. Обґрунтування параметрів системи автоматичної корекції траєкторії руху культиватора.
3. Вплив розробленої системи автоматичної корекції траєкторії руху культиватора для міжрядного обробітку ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно на пошкодження культурних рослин, робочу швидкість МТА, якість обробітку ґрунту, ступінь підрізання бур'янів та умови роботи оператора.

Дата видачі завдання 15 жовтня 2024 р.

**Керівник
магістерської кваліфікаційної роботи**

(підпис)

Волянський М.С.
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Гришук В.П.
(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна магістерська робота викладена на 78 аркушах друкованого тексту, 6 таблицях та 17 рисунках та додатки. Інформація наведена у п'яти розділах.

Метою роботи є дослідження та порівняння міжрядного обробітку кукурудзи на зерно розробленим удосконаленим культиватором для міжрядного обробітку та класичної конструкції культиваторів.

У магістерській кваліфікаційній роботі наведено:

Актуальність обраної теми, виявлено проблеми та переваги міжрядного обробітку в посівах кукурудзи.

Обґрунтування технології міжрядного обробітку посівів кукурудзи.

Аналіз та порівняння різних конструкцій робочих органів, автоматичних системи ведення культиватора по траєкторії рядка світових виробників та виробників вітчизняних культиваторів.

Спроековано універсальне удосконалення для навісного культиватора для міжрядного обробітку. Яке являє собою перехідну три точкову рамку яка кріпиться на навіску трактора між ним та культиватором.

Проведено дослідження та порівняння з традиційними методами обробітку міжрядь кукурудзи та розробленого вдосконалення.

Проведена порівняльна оцінка економічних показників удосконаленої та базової моделі культиватора, розраховано термін окупності.

Ключові слова: КУКУРУДЗА, ҐРУНТ, КУЛЬТИВАТОР, МТА, КАМЕРА, ГІДРАВЛІКА, МІДРЯДНИЙ ОБРОБІТОК, РАМКА, ТРАКТОР, БУР'ЯН.

Публікації Наукових статей:

- IV Міжнародна науково-практична конференція молодих учених «ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІННОВАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ КОМПЛЕКСІ»

Гришук В. П., Волянський М. С. АНАЛІЗ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КОПЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РЯДКІВ КУЛЬТИВАТОРА ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ

- XX Міжнародний форум молоді «Молодь і індустрія 4.0 в XXI столітті»

Гришук В. П., Волянський М. С. СУЧАСНІ ВОЛОГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ В РОСЛИННИЦТВІ. XX-й Міжнародний форум молоді " МОЛОДЬ І ІНДУСТРІЯ 4.0 В XXI СТОЛІТТІ ". Збірка матеріалів форуму. – Харків: ДБТУ. 2024. 360с.

- ЗБІРНИК ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ ХХVІ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17-18 жовтня 2025 року) присвяченій 125-й річниці з дня народження академіка Петра Мефодійовича Василенка

ЗМІСТ

Вступ.....	9
РОЗДІЛ 1 МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО МЕХАНІЧНОГО МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ КУКУРУДЗИ.....	12
1.1 Механічний міжрядний обробіток кукурудзи та його передумови...	12
1.2 Особливості міжрядної культивуації посівів кукурудзи	16
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ КУЛЬТИВАТОРІВ ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ.....	20
2.1 Аналіз будови та функціонального призначення робочих органів культиватора.....	20
2.2 Історичні етапи розвитку культиваторів з системами копіювання траєкторії рядків.....	23
2.3 Аналіз доступних на ринку електричних складових систем точного ведення культиватора траєкторією рядків.....	26
2.4 Огляд і порівняльна характеристика українських виробників культиваторів для міжрядного обробітку ґрунту.....	31
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА ТА КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОПІЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РЯДКІВ КУЛЬТИВАТОРА.....	35
3.1 Обґрунтування вибору базового культиватора та електронної частини удосконалення.....	35
3.2 Розрахунок гідравлічної частини.....	37
3.3 Конструкція перехідної трьохточкової рамки, що зміщується.....	49
3.4 Тяговий розрахунок.....	51

РОЗДІЛ 4 ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ.....	58
4.1 Виявлені переваги удосконаленого культиватора під час дослідження.....	58
4.2 Програма та методика досліджень.....	61
4.3 Планування експерименту	63
4.4 Результати експерименту	65
4.5 Висновок проведених досліджень.....	66
РОЗДІЛ 5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	68
5.1 Розрахунок показників економічної ефективності удосконалення....	68
5.2 Порівняльний розрахунок.....	69
ВИСНОВОК.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
ДОДАТКИ.....	78

ВСТУП

Кукурудза є однією з найважливіших та найцінніших сільськогосподарських культур. В своєму складі вона має багато вуглеводів, білків, вітамінів є досить калорійною, що робить її важливим джерелом поживних речовин для людей та тварин. Кукурудза важливий компонент кормів для промислової худоби (ВРХ, свині, кури). Вона також використовується в промисловості для виробництва крохмалю, патоки, спирту, біопалива та інших важливих продуктів. На сьогодні кукурудза входить до трійки провідних культур за обсягами вирощування разом з пшеницею та рисом, займаючи ключові позиції у структурі посівних площ.

Водночас, інтенсивне землеробство й тривале використання засобів хімічного захисту рослин поставили перед аграрним сектором нові виклики. Традиційні методи боротьби з бур'янами в посівах кукурудзи, зокрема використання гербіцидів поступово втрачають свою ефективність. На це є кілька основних причин: по-перше більшість країн Європейського Союзу запроваджують обмеження або повні заборони на використання гербіцидів на основі гліфосату, флуфенацету, амітролу, триазульфурону та інші, що є найпоширенішими та найефективнішими препаратами проти бур'янів. По-друге внаслідок тривалого використання хімічних засобів у шкодочинних рослинах формується резистентність, що значно знижує ефективність дії препаратів та збільшує витрати на обробіток.

У зв'язку з цими факторами фермери все частіше дивляться у бік механічного обробітку міжрядь традиційними культиваторами для міжрядного обробітку ґрунту. Такий підхід не лише дозволяє зменшити хімічне навантаження на довкілля, ще й покращує структуру ґрунту, зберігає вологу у прикореневій зоні. Однак, такий обробіток має ряд суттєвих недоліків: першочергово це відносно не велика продуктивність, більший відсоток пошкоджених рослин, обмежені можливості використання в нічний час. Сучасний напрям розвитку машин для міжрядного обробітку передбачає впровадження інноваційних систем автоматичного

корегування траєкторії руху культиватора відносно рядків рослин. Такі технології дозволяють суттєво підвищити продуктивність, точність зменшити навантаження на оператора, та дають можливість працювати в нічний час доби. На сьогодні, ринок таких культиваторів слабо розвинутий в Україні. Представлені моделі мають високу вартість та вимагають покупку цілого культиватора.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження та порівняння міжрядного обробітку кукурудзи на зерно, традиційними методами міжрядного обробітку та розробленої універсальної перехідної триточкової рамки, яка буде встановлюватись між трактором та культиватором для міжрядного обробітку посівів. Запропонована конструкція підвищить продуктивності обробітку як годинну так і добову, зменшить число пошкоджених рослин, та надасть можливості працювати в темний час доби. Окрім цього, впровадження даного рішення дозволить значно зекономити кошти сільськогосподарських підприємств, оскільки не потребує купівлі нового культиватора із вбудованою системою копіювання – достатньо оснастити вже наявний у господарстві агрегат розробленою перехідною рамкою. Це зменшує витрати на технічне обслуговування, закупівлю запасних частин та підготовку персоналу.

Об'єктом дослідження є процес міжрядного обробітку посівів кукурудзи на зерно, вплив різних способів механічного догляду на стан рослин. Порівняння та дослідження позитивних та негативних факторів використання удосконалення на посівах кукурудзи на зерно.

Предметом досліджень є розроблена система автоматичної корекції руху культиватора для міжрядного обробітку ґрунту. Та оцінка її техніко-експлуатаційних та агрономічних показників роботи.

Наукова новизна роботи полягає у створенні оригінальної систем копіювання траєкторії рядків, конструктивно реалізовано у вигляді перехідної універсальної рамки яка встановлюється між трактором і культиватором, На момент написання даної роботи на ринку не представлено подібного рішення. Існують кілька світових

виробників які пропонують систему в зборі з культиватором, що не завжди вигідно покупцю через високу вартість.

Структура кваліфікаційної роботи складається з п'яти розділів.

- В першому досліджується передумови та значення міжрядного обробітку для формування врожаю та вплив різних технологічних параметрів на стан рослин кукурудзи.

- В другому проведено аналіз робочих органів та виробників вітчизняних та закордонних виробників культиваторів для міжрядного обробітку. Проаналізовано наявні на ринку електронні компоненти системи точного ведення по траєкторії рядків.

- У третьому розділі виконано теоретичний розрахунок гідравлічної складової, перевірку на міцність розробленої рамки та тяговий розрахунок 12-ти рядного культиватора з удосконаленням та колісним трактором CASE IH PUMA 210.

- Четвертий розділ присвячено дослідженню переваг даної конструкції культиватора для міжрядного обробітку та порівняння його з традиційними методами обробітку міжрядь кукурудзи.

- П'ятий розділ демонструє економічну перевагу розробленого удосконалення.

Основний текст займає 78 сторінок на яких наявно 6 таблиць, 17 рисунків та додатки.

РОЗДІЛ 1

МЕХАНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ДО МЕХАНІЧНОГО МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ КУКУРУДЗИ

1.1. Механічний міжрядний обробіток кукурудзи та його передумови

Просапні культури – це сільськогосподарські культури для нормального розвитку яких потрібні збільшені площі живлення, оскільки протягом періоду вегетації їм потрібна значна кількість поживних речовин, запасів вологи та площ для розвитку кореневої та надземної частини рослини. Свою назву вони отримали через особливість догляду за посівами, суть якої полягає у кілька разовій обробці міжрядь у період від перших сходів до замикання рядків.

До найбільш поширених видів просапних культур які висіваються на території України відносяться: кукурудзу, сорго, сонях, буряк цукровий та кормовий, соя, ріпак, картопля, більшість овочів також саджанці дерев та кущів.

Механізовану обробку міжрядь кукурудзи люди почали проводити від тоді як дана культура почала вирощуватись в промислових масштабах. На початку обробіток проводився лише з метою знищення бур'янів. Але починаючи з минулого 20 століття, розвиток аграрних наук і дослідження показали, що окрім знищення бур'янів, міжрядна культивуація має інші позитивні аспекти: збереження вологи, розпушення, насичення повітрям. Дослідники навіть розділяли міжрядний обробіток на два терміни як різні агротехнічні операції, мотиження – знищення шкочинних рослин та рихлення – розпушення верхнього шару ґрунту. Сьогодні такий поділ є актуальним, проблему з бур'янами у посівах більшість фермерів вирішує за допомогою внесення гербіцидів. Але сьогодні у Європейському Союзі триває активна політика щодо обмеження та заборони ряду гербіцидів. В їх перелік входять популярні та найефективніші препарати: гліфосад, флуфенацет, амітрол, S-

метолахлор, триазульфурон та інші. Через тривале використання ЗЗР (засобів захисту рослин) у бур'янів розвивається резистентність до них. Враховуючи близькість до Європи та державну політику по євроінтеграції робить механічне видалення бур'янів більш актуальним. До переваг міжрядного обробітку, варто додати можливість внесення сухих мінеральних або рідких добрив під корінь рослин під час культивації [13-15].

Кукурудза (лат. *Zea mays*) належить до просапних культур, яким потрібна для розвитку велика кількість вологи, поживних речовин, та сонячної радіації. Що зумовлює відносно колосових та бобових культур рідкий стеблостій. Ця біологічна особливість зумовлює необхідність регулярного міжрядного обробітку ґрунту, який поєднує знищення бур'янів з розпушенням верхнього шару ґрунту.

Перші етапи онтогенезу кукурудзи є найважливішим періодом у життєвому циклі рослини. В ці етапи закладається корінь та стебло, будь-яка затримка чи порушення розвитку які виникли в цей період не компенсуються у подальшому. Велика кількість опадів, низькі середньодобові температури та важкі ґрунти призводять до надмірного ущільнення ґрунту, погіршенню аерації, утворення кірки, порушення вертикального руху води у верхніх шарах. Ущільнений ґрунт пригнічує та перериває розвиток кореневої системи молодих сходів кукурудзи. Це безпосередньо впливає на ранній розвиток, зниження стійкості до хвороб і пошкодження репродуктивних органів рослин. Саме міжрядна культивація дозволяє боротися з цими негативними чинниками.

Паралельно до сходів кукурудзи з'являються сходи бур'янів які спричиняють конкуренцію за вологу, поживні речовини, та сонячне світло. Боротьба за світло призводить до деформації рослин кукурудзи (рис 1.1). Стебла, що конкурують за світло, стають тоншими. Кукурудза прагне вище підняти свої листки до джерела світла. Це призводить до витягування стебла, що робить його більш гнучким і дозволяє йому легше лавірувати між сусідніми рослинами. Порушення орієнтації листя та затримання замикання рядів це також наслідки забур'яненості.

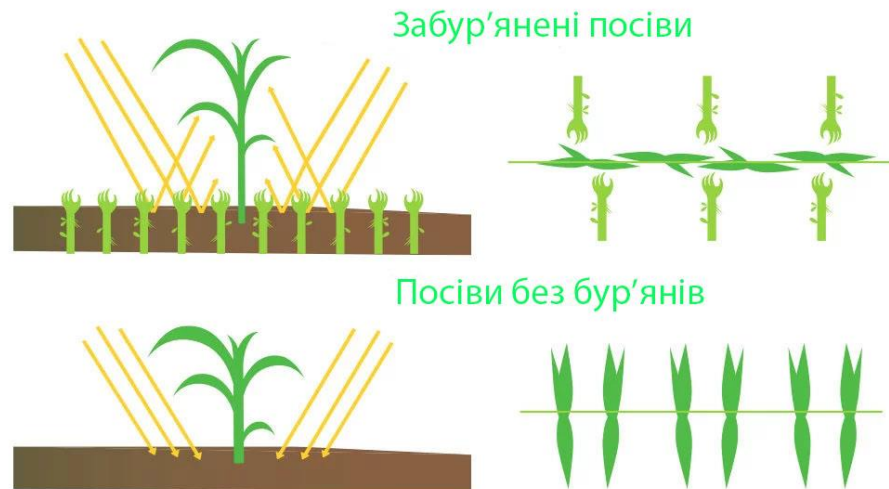


Рис. 1.1. Вплив бур'янів на розвиток стебла та листків кукурудзи

Коренева система кукурудзи, при високій засміченості бур'янами, змушена розвиватися в глибину ґрунту, де доступ до води та поживних речовин обмежений (рис 1.2). Це призводить до зменшення загального об'єму кореневої системи та голодування рослини. У таких умовах кукурудза часто реагує на дефіцит фосфору та калію зміною забарвлення листків [8].



Рис.1.2. Вплив різноманітних факторів на розвиток кукурудзи

Молодим рослинам важливо мати достатню кількість вологи та повітря у ґрунті. На забур'яненому чи ущільненому ґрунті об'єм кореневої системи кукурудзи зменшується до 20%, об'єм бокових(повітряних) і вузлових коренів зменшується аж до 40%. Недостатня кількість вологи спричиняє стрес у рослини. Всі органи і системи переходять в стресовий режим розвитку. Зменшується площа листя, що тягне за собою зменшення фотосинтезу [20]. Для зменшення його дефіциту рослина підвищує кількість хлорофілу до десяти разів. Через фактори перелічені вище рослина не отримує в нормальній кількості поживні речовини та світло, які необхідні для формування тканин і майбутнього врожаю. Також зазнають деформації та пошкодження репродуктивні органи (качани і суцвіття) Все це спричиняє суттєві втрати врожаю 15-50% [3].

Для правильного формування рослини та інтенсивного росту потрібне оптимальне співвідношення води, тепла і повітря. Оптимальним шляхом отримання таких умов є міжрядний обробіток ґрунту (розпушення) та мотиження культиватором для міжрядного обробітку [14].

Міжрядний обробіток має наступні позитивні показники:

- перешкоджання випаровуванню води з поверхні ґрунту;
- порушення ґрунтової кірки;
- поліпшення аерації;
- регулювання теплообміну;
- знищення бур'янів;
- підживлення добривами рослин.

Руйнування тріщин та капілярних зв'язків у ґрунті запобігає надмірній втраті вологи. Оскільки у верхньому шарі ґрунту постійно відбувається кругообіг води. Та волога, що накопичилась в ґрунті під час опадів починає рух угору через ґрунтові капіляри. Вода підіймається доти поки верхній шар не висохне. Тому розпушивши верхній шар на 3-5 см, ми закриваємо прямий доступ капілярів до атмосфери, завдяки

чому зменшуємо втрату вологи. Дослідники прирівнюють своєчасне розпушення верхнього шару ґрунту з добрим дощем [6].

Ущільнений ґрунт утруднює та зменшує засвоєння кореневою системою поживних елементів. Листки рослини фіолетовим забарвленням повідомляють про нестачу такого елемента як фосфор, але в ґрунті його може бути достатня кількість. Розпушивши ґрунт поблизу кореня прискорить прогрів землі, покращить аерацію, що сприятиме значно кращому засвоєнню мікро та макроелементів. В даному випадку міжрядний обробіток буде виконувати терморегулюючу функцію. Також насичення повітрям ґрунту є важливим фактором для кукурудзи, оскільки вона чутлива до його наявності [13].

1.2. Особливості міжрядної культивації посівів кукурудзи

Визначити теоретично оптимальні терміни проведення операцій міжрядної культивації кукурудзи практично нереально, вони залежать від безлічі факторів, серед яких: засміченість бур'янами, стан ґрунту, вологість, особливості гібриду чи сорту і так далі. Що до кількості обробітків, вона також відрізняється від року в рік навіть при ідентичних підходах через погодні умови. При використанні без гербіцидної технології проводять міжрядну культивування 2-3 рази з перервами у 10-15 діб. У змішаній технології зазвичай проводять один рідше два обробітки. В залежності від ґрунтових та погодних умов [15].

Оптимальний проміжок часу для проведення міжрядного обробітку вузький. Потрібно розпочати обробіток поля в цей період, аї завершити його вчасно. Відхилення від термінів проведення першого обробітку (фаза 3-5 листочків) на 7-14 днів знижує врожайність до 0,2-0,35 т/га. Тому виникає логічне питання підвищення продуктивності міжрядного обробітку. Робоча ширина культиваторів є відносно сталою – 5,6 м (8 рядків), 8,4 м (12 рядків) та кратною до сівалки. Для збільшення продуктивності потрібно збільшувати швидкість обробітку та

ефективний час роботи. В цьому допомагають сучасні технології GPS – навігації та системи копіювання траєкторії рядків.

Міжрядний обробіток кукурудзи рекомендовано проводити з фази 3-ох листків до фази 8-9 листків (рис 1.3). Цей період розвитку рослини є найважливішим за всю вегетацію. Він характеризується невисокою температурою середовища та ґрунту та переходом рослини автотрофне (самостійне) живлення внаслідок розвитку кореневої системи. Розвиток листя в цей період притупає порівняно з попереднім періодом новий листок з'являються кожних 4-6 днів. Це пов'язано з тим що у період від 1-го до 3-го листа розвиток відбувається за рахунок запасів насінини [6].

Перший обробіток потрібно проводити у фазі 3-4 листка, саме у цей момент рослина повністю переходить на автотрофне живлення, корінь рослини починає активно формуватися саме після 3-4 листа (рис 1.3). На глибині 4-5 см від поверхні ґрунту з підземних вузлів стебла починають своє формування придаткові корені які мають основну роль у живленні рослини. Перші 15-20 діб вони ростуть по вертикалі вниз, потім розвиваються в горизонтальній площині і знову заглиблюються. Таким чином формується мичкувата коренева система яка є розгалуженою та глибоко проникає в ґрунт до 2-4 метрів, основна маса коренів знаходиться на глибині 30-60 см. Тому потрібно провести обробіток в фазу 3-4 листа, щоб забезпечити оптимальні умови для розвитку коренів та не пошкодити їх. За потреби одночасно з культивуванням є можливість внесення сухих та рідких мінеральних добрив прямо під корінь, що значно підвищить їх ефективність.

Глибина першого обробітку варіюється від 6-10 см. в залежності від глибини на якій починається волога та проводилась сівба. Чим глибше знаходиться волога тим глибший обробіток. Також на важких ґрунтах чи ділянках забруднених багаторічними бур'янами рекомендується заглиблювати робочі органи, а на піщаних – вимілити на 1-2 см. Захисна зона повинна бути в межах 8-10 см [20].

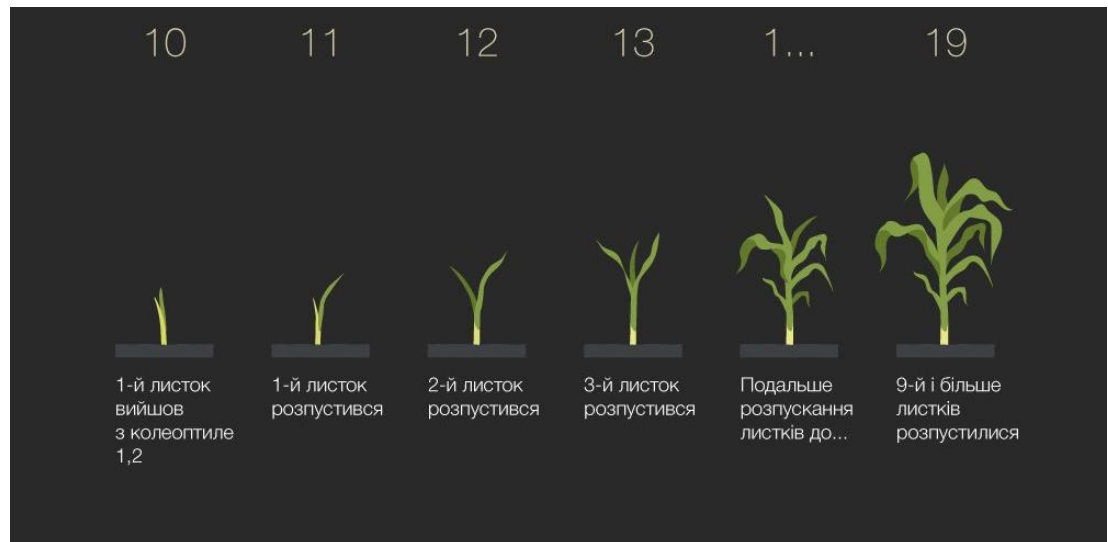


Рис.1.3. Фази розвитку кукурудзи

У фазі 5-8 листків бажано не проводити міжрядного обробітку(рис 1.3). В цей період рослина кукурудзи потребує спокою для повноцінного розвитку кореневої системи.

Другий міжрядний обробіток посівів кукурудзи потрібно проводити у фазі 8-9 листків. Коренева система у цей період уповільнює свій розвиток на цей час вона охоплює радіус навколо рослина 40-60 см та глибину понад 60 см. Цей період характерний зменшенням часу розгортання листків до 1-2 днів, активним формуванням вузлів і міжвузлів. Триває закладання врожаю тобто формування генеративних органів. Першочерговою задачею в цей період є знищити бур'яни та розпушити ґрунт, оскільки після цієї фази відбувається замикання рядів. І далі не буде можливості міжрядного обробітку. Коли рядки замкнуться кукурудза вже самостійно зможе приглушатиме проростання нових бур'янів.

Під час другого обробітку потрібно зменшити глибину до 4-6 см. захисну зону розширити до 8-12 см через ризики пошкодити коріння. Також доцільно використовувати підгортальники, окучники різного типу та пальцеві робочі органи для ефективного знищення бур'янів в рядках між рослинами кукурудзи.

Міжрядний обробіток кукурудзи – це не просто механічна дія, а й ціла система заходів та прийомів, спрямованих на створення сприятливих умов для розвитку культури. Він подібний до комплексного лікування та профілактики, що впливає на різні "системи" рослини: кореневу, надземну, а також на ґрунтове середовище.

Найважливішим завданням міжрядного обробітку є знищення бур'янів. Ці конкуренти відбирають у кукурудзи вологу, необхідні поживні речовини та світло, погіршуючи її розвиток та знижуючи потенційну врожайність. Також, бур'яни можуть є джерелом інфекцій та шкідників, що шкодять кукурудзі.

Наступною важливою метою є розпушування ґрунту. Це покращує аерацію, необхідну для дихання та засвоєння поживних речовин. Також розпушування ґрунту підвищує його водопроникність, та можливість утримувати вологу, особливо важливу для кукурудзи в посушливі періоди.

Важливо підкреслити, що терміни та параметри міжрядного обробітку повинні обиратися з урахуванням фази розвитку кукурудзи, ґрунтових та погодних умов. Неправильно проведений обробіток призведе до пошкодження кореневої системи рослини та негативно вплинути на її розвиток [13].

Міжрядний обробіток кукурудзи – це досить цікавий та важливий етап догляду за сходами рослин, який потребує знань, досвіду та нових інновацій. Вчасно та правильно проведений міжрядний обробіток завжди позитивно відображається на врожайності.

РОЗДІЛ 2

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ РОБОЧИХ ОРГАНІВ ТА КОНСТРУКЦІЙ КУЛЬТИВАТОРІВ ДЛЯ МІЖРЯДНОГО ОБРОБІТКУ ҐРУНТУ

2.1. Аналіз будови та функціонального призначення робочих органів культиватора

На сучасному ринку пропонується велика кількість моделей культиваторів для міжрядного обробітку ґрунту. Кожний виробник прагне надати унікальні конструктивні рішення своїй техніці, що пояснює різноманітність представлених варіантів. Така ситуація зумовлена простотою та дешевизною виготовлення машин такого типу.

Основою будь-якого культиватора є несуча конструкція (рама), яка являє собою міцний сталевий брус, саме до неї кріпляться всі інші вузли і механізми. Конструкція рами може бути як суцільною так і складною. Складні варіанти обладнуються гідравлічною системою яка забезпечує переведення агрегату з робочого у транспортне положення. На раму кріплять системи підвіски робочих органів, їх конструкція передбачає можливість регулювання глибини, відстані міжрядь та інші. Найпоширенішим є паралелограмний механізм, який забезпечує стабільність глибини обробітку та амортизує робочі органи. Для агрегування з трактором використовують навісну схему агрегування через триточкову навіску.

Не менш важливим компонентом сучасних культиваторів є встановлення систем для внесення рідких та сухих добрив, що дозволяє виконувати кілька технологічних операцій за один прохід [5].

Головним компонентом будь-якого культиватора є його робочі органи. Вони визначають якість виконання технологічних операцій, адже вони безпосередньо

взаємодіють з ґрунтом. Асортимент їх досить широкий оскільки їх форма змінюється під кожну культуру, ґрунт та тип обробітку.

Залежно від функції робочі органи ділять на три основних типи (рис. 2.1):

- прополювальні (стрілчаті лапи, однобічні проскорізальні (лапи бритви));
- розпушувальні (долотоподібні, списоподібні, оборотні);
- підгортачі.

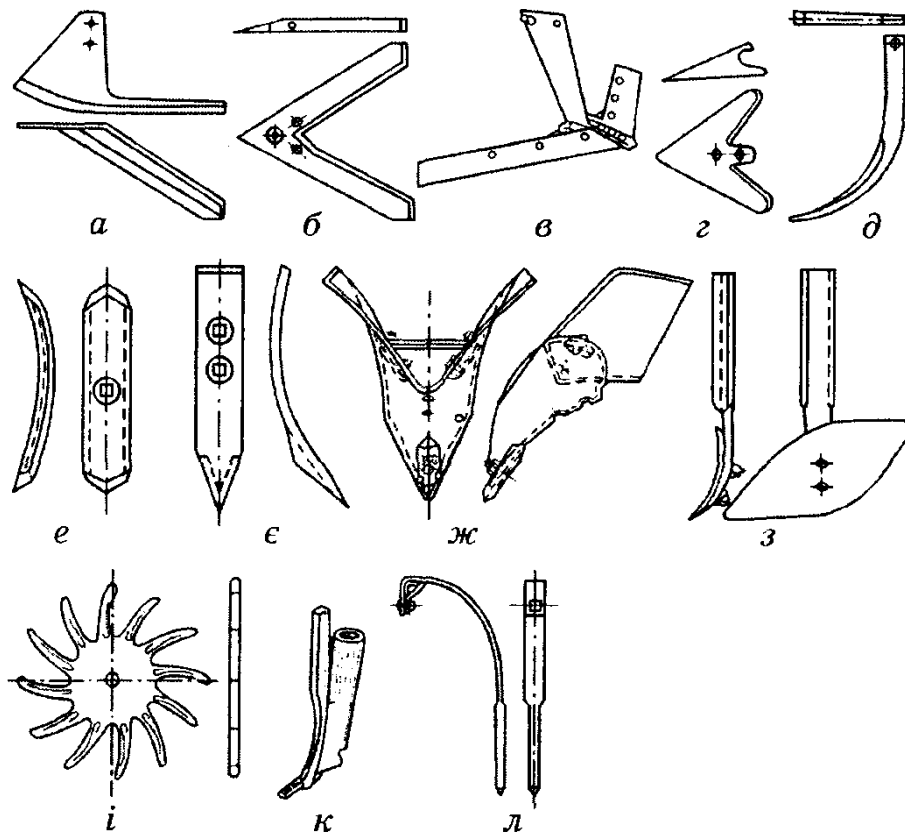


Рис. 2.1. Робочі органи культиваторів

а — однобічна лапа; *б* — стрілчаста лапа без хвостовика; *в* — плоскорізальна лапа; *г* — стрілчаста універсальна лапа; *д* — долотоподібна лапа; *е* — розпушувальна оборотна лапа; *є* — списоподібна лапа; *ж* — підгортач; *з* — лапа-полиця; *і* — голчастий диск; *к* — підживлювальний ніж; *л* — полольний зуб

Окрім того можуть застосовуватись спеціальні робочі органи захисні щитки, пальчикові робочі органи для обробітку простору в рядках рослин, підживлювальні ножі та долота, фрези для обробітку міжрядь та інші [4-5].

Основним та найпоширенішим робочим органом міжрядних культиваторів є стрільчаста лапа. Вона поєднує підрізання бур'янів та розпушення верхнього шару ґрунту. Ефективно використовується на ранніх етапах розвитку культур на глибину 6 см.

Однобічні плоскорізальні лапи (лапи бритви) мають аналогічне призначення проте оснащенні боковими щітками які запобігають засипанню рослин ґрунтом. Вони виробляються у правому та лівому виконанні та переважно використовуються у поєднанні зі стрільчастою лапою [2].

Розпушувальні лапи розпушують ґрунт, проте не забезпечують боротьбу з бур'янами. Вони виготовляються у різних формах, але всі являють собою видовжиний металевий стержень зігнутий до напрямку руху з конусоподібним кінцем, який добре заглиблюється та розпушує ґрунт.

Підгортачі переважно застосовуються для догляду за овочевими культурами. Вони формують кращі умови для розвитку корневих систем та присипають бур'яни.

З інноваційних рішень дедалі більшого застосування набувають пальчикові робочі органи (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Робочі органи пальцевого типу

Їх виготовляють з полімерних еластичних матеріалів і працюють за принципом висмикування бур'янів в рядку не пошкоджуючи культурні рослини. Суттєвим недоліком є те що на ранніх стадіях вегетації або рослин з слабким стеблом, пальчикові робочі органи пошкоджують їх.

Також існують більш спеціалізовані під певні культури робочі органи такі як борозноарізувальний корпус, ротаційна борона, просапні борінки, захисні щитки. Робочі органи та їх поєднання створюють унікальний характер та тип обробітку.

2.2. Історичні етапи розвитку культиваторів з системами копіювання траєкторії рядків

Перші ідеї для покращення точності і якості міжрядного обробітку ґрунту виникли з першими культиваторами на початку ХХ століття. Перші моделі культиваторів мали важелі якими механізатор корегував рух агрегату. Людина виконувала функції датчика, контролера, привода одночасно. Що значно обмежувало швидкість руху та вимагала значних фізичних зусиль.

З метою підвищення продуктивності у 1920 роках були зроблені перші спроби розмістити оператора ближче до робочої зони культиватора та зменшити фізичне навантаження за рахунок механізмів (рис. 2.3). У 1922 році в США було запатентовано конструкцію, де робітник сидів на додатковому сидінні безпосередньо над культиватором і керував передніми колесами через рульове колесо, тоді як знаряддя розташовувалось між передньою віссю коліс. Не зважаючи на підвищення якості дані конструкції не пішли у масове виробництво через свою складність та неефективність.

У 1960 роках розпочалось серійне виробництво тракторів з фронтальною навіскою та використанням фронтальних культиваторів. Однак це рішення навпаки ускладнило умови візуального спостереження за відносним положенням робочих

органів та рядків рослин і значно обмежило застосування. Виникла значна нестійкість системи машинно-тракторного агрегата, обумовлена навантаженням на передню вісь. Загалом дане рішення додало більше проблем чим вирішувало.

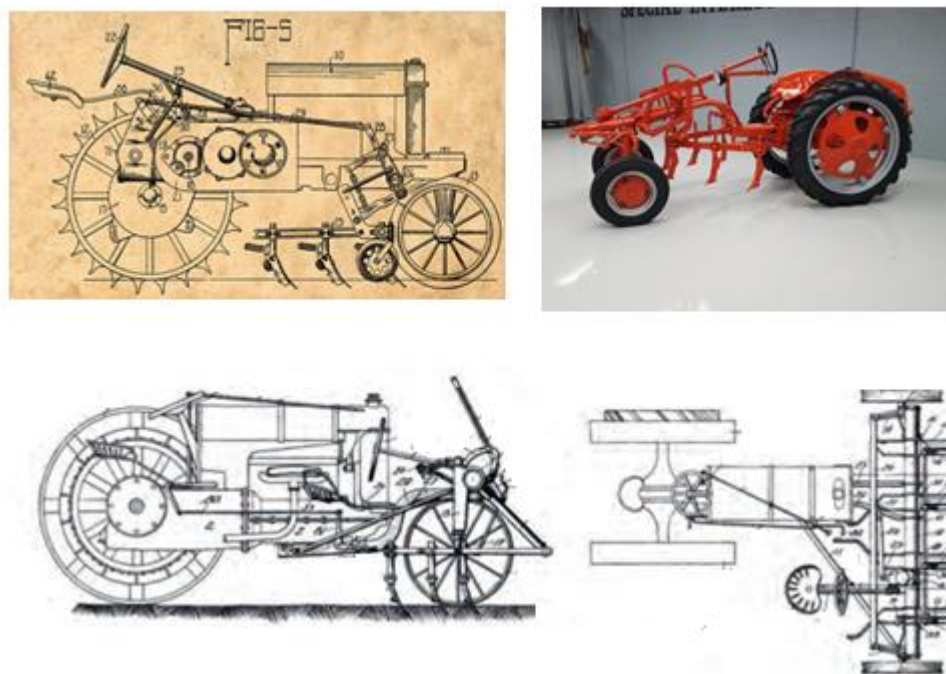


Рис. 2.3. Перші рішення для більш точного ведення культиватора

Дієвим рішенням стало використання напрямних щілин в ґрунті, які нарізають під час сівби для точнішого руху культиватора запропоновано у середині 1960-их років європейськими та американськими компаніями. Принцип роботи базувався на тому, що під час сівби нарізали щілини в ґрунті. Стяжки навісної системи трактора послаблюються і культиватор рухається уздовж рядків, копіюючи траєкторію напрямних щілин, які збігаються з кривизною рядків. Спосіб виявився досить надійним і не вимагав складних дорогих гідро- та електросистем. Пошук засобів ведення які опирались на різноманітні фізичні принципи — водіння вздовж струмопроводів, використання фотооптичних пристроїв, керування за променем лазера та таке інше — активно відбувався у 1970-1980 роки, але не стали ефективним та не набули розповсюдження [1].

У кінці вісімдесятих конструкторами з київського НВО «Цукрових буряків» було значно вдосконалено технологію та комплекс знарядь для вирощування цукрових буряків з використанням напрямних щілин у ґрунті, які слугували для орієнтації робочих органів у ґрунті (рис. 2.4). Тримальну здатність та стійкість щілин у ґрунті, достатню для орієнтації культиватора під час багаторазових проходів агрегата, вдалось забезпечити завдяки особливій формі ножа щілиноріза.

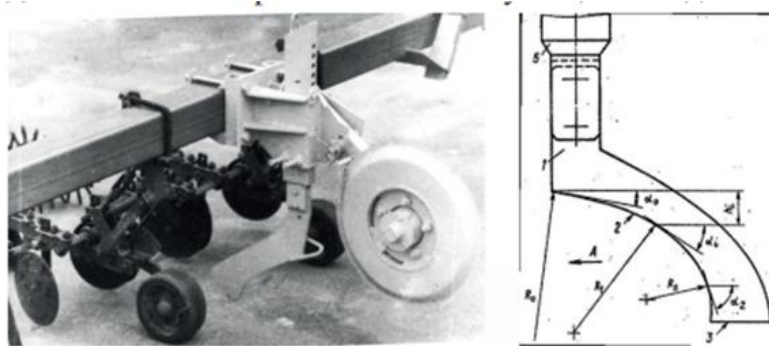


Рис. 2.4. Схема та спосіб кріплення щілиноріза на культиваторі

Першим розробленим культиватором з оптичною аналізуючою системою є Robotic Cultivator, розроблений американськими винахідниками у 1995 році та запатентований патентом №US5442552 (рис. 2.5).

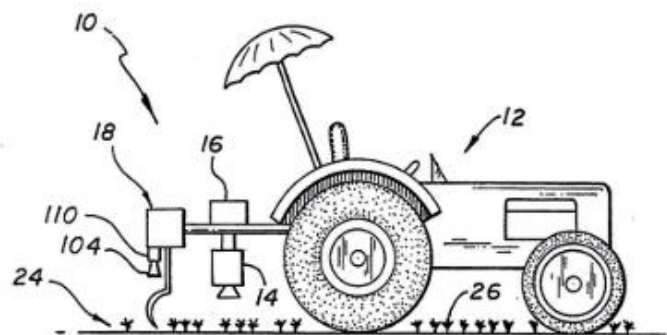


Рис. 2.5. Схема культиватора з оптичною аналізуючою системою Robotic Cultivator (патент №US5442552)

Тогочасні можливості комп'ютерів та цифрових камер не дозволили реалізувати цю концептуальну технологію на повну. Robotic Cultivator містив всі компоненти

та працював за тими ж принципами що й сучасні культиватори з системою копіювання траєкторії рядків які розпочали виготовлятися в промислових масштабах кілька років тому, завдяки стрімкому розвитку електротехніки.

Системи автоматичного копіювання рядів посівів для культиваторів міжрядного обробітку пройшли довгий та цікавий шлях розвитку від ручного керування до сучасних комп'ютеризованих систем з оптичними камерами та штучним інтелектом. Цей розвиток суттєво вплинув на продуктивність сільського господарства, зробивши роботу точнішою, ефективнішою, комфортнішою та безпечнішою. Безумовно, що в майбутньому культиватори отримають ще велику кількість доробок, але і сьогоднішній результат вражає та обробіток проводиться фактично в автономно від людини. Системи автоматичного ведення культиваторів – це унікальний сучасний інструмент, який суттєво підвищує продуктивність та рентабельність сільськогосподарського виробництва.

2.3 Аналіз доступних на ринку електричних складових систем точного ведення культиватора траєкторією рядків

Галузь систем автоматичного копіювання траєкторії рядків активно розвивається. Спектр використання значно ширший лише за культиватори для міжрядного обробітку, активно такі інтелектуальні системи впроваджуються в самохідні оприскувачі, безпосередньо трактори. Через свою дороговизну та складність розробки сьогодні існує всього кілька компаній які займаються розробкою та вдосконаленням таких систем.

Компанія Claas разом з Einböck, Hatzenbichler та Vednar розробили власну систему Culti Cam, що є однією з найдосконаліших та найточніших систем.

CLAAS CULTI CAM MK4HD є очима цієї системи. Камера поєднує два кольорових об'єктива (стереокамера) для отримання тривимірного зображення рослин в полі зору з розпізнаванням кольорового спектру (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Камера CLAAS CULTI CAM MK4HD

Є варіанти конструкції які передбачають обладнання двома камерами для збільшення точності ведення. За додаткову плату встановлюється камера Claas quality cam на нижній частині рами культиватора для спостереження за якістю виконання технологічної операції з кабіни трактора чи дистанційно в реальному часі. Зібрана камерами інформація надходить на обробку в комп'ютерний модуль Claas UBM. Він аналізує отримані зображення та надсилає сигнали на гідравлічний розподільник для корекції руху та дає інформацію на термінал Claas Communicator III. Він слугує для візуалізації інформації та налаштувань системи. Можливості налаштувань вражають. Налаштувати оптичні датчики можна відповідно до кожної культури в різні фази росту. У режимі 2D існує можливість обирати між різними спектрами кольорів: зеленим/жовтим (для кукурудзи), зеленим/синім(для соєвих бобів, капусти) або червоним (деякі овочі, бур'яки). Вибір кольорової гама напряму залежить від кольору культурної рослини та бур'янів [18].

Режим роботи 3D рекомендують використовувати для великих культур, такі як кукурудза, соняшник тощо, тобто для посівів рослин які мають чітке випередження по росту (приблизно 10 см) над бур'янами. Culti Cam працює в нічний час, за наявності освітлення розпізнаючи від двох до чотирьох рядків, що. Також система

повністю сумісна з міжнародною системою Isobus для легкого агрегування з сучасними тракторами [9].

Culti Cam є популярною та чітко виконує поставлену задачу. Цю систему використовують на культиваторах таких виробників Horsch, Einböck, Hatzenbichler, Bednar та інші. Виробник заявляє наступні головні характеристики:

- здатність працювати на високій швидкості до 18 км/год;
- можливість налаштувати агрегат так щоб він працював з точністю 2,5 см;
- здатність обробляти посіви що знаходяться на схилах;
- автоматичне переналаштування з денного на нічний режими;
- простота у використанні;
- пило та водонепроникність системи.

До виробників культиваторів з систем для автоматичного копіювання траєкторії рядів нещодавно приєднався Lemken придбавши нідерландського виробника міжрядних культиваторів Steketee. Steketee власноруч розробила власну систему, обчислювальний модуль (комп'ютер) (рис. 2.6 а), програмне забезпечення і камеру. Камера має один об'єктив який працює у RGB та ближньому інфрачервоному спектрі. Завдяки цій особливості краще за конкурентів розрізняє основні кольори рослин: відтінки зеленого червоного та синього кольорів. Велика кількість відтінків дає можливість розрізняти найдрібніші пагони та рослини на перших етапах вегетації. Наприклад молода цибуля з розміром листка як голка з ялинки не є проблемою для даної системи. Кожна культура на різних стадіях вегетації потребує особливих налаштувань які коректують в ручну, але система обладнана програмним забезпеченням з влаштованим штучним інтелектом, який аналізує налаштування та самонавчається, що суттєво покращує якість. Система адаптується буквально за кілька десятків метрів. Завдання оператора зводиться до того щоб задати базові та прості налаштування, вказати колір рослини, рядок з нею та підібрати оптимальну швидкість зміщення культиватора [18].

Незвичною особливістю є наявність виконання з ручним керуванням культиватором за допомогою джойстика який знаходиться в кабіні оператора або встановлюється з місцем для сидіння позаду культиватора (рис. 2.6 б). Тобто можна використовувати людину для керування зміщенням культиватора [21].



Рис. 2.6. Культиватор Steketee:

а - з встановленою камерою; *б* – з ручним керуванням

Виробник заявляє що дана система буде забезпечувати точність +/- 2 см при швидкості руху 15 км/год. За функціоналом вона досить схожа на своїх конкурентів. Головною особливістю є програмне забезпечення та камера які додають їй більшої точності та можливості розрізнити рослини на початкових стадіях розвитку та тонких стеблах. Також особливістю конструкції культиваторів є можливість працювати в міжряддях 12,5 см. Що робить цю систему автоматичного копіювання траєкторії рядків однією з найкращих для овочевих та спеціальних культур серед конкурентів.

Система Inter-row від німецького виробника Tillett and Hague Technology. Є дещо простішою та дешевшою за європейських конкурентів. Її використовують такі виробники як Opico, Pottinger, Garford, Monosem, Iris та багато інших. Великою перевагою цієї системи є її доступність та легкість інтегрування в культиватори

порівняно з іншими виробниками. Розробники даної системи відкриті до співпраці з усіма бажаючими та налаштовують, модифікують систему під замовника. Історія розробки даної системи компанією почалась ще на початку 2000-х. У 2008 році вже було розроблено повністю дієвий культиватор для міжрядного обробітку цукрових буряків. З того часу Tillett and Hague Technology постійно розвивають та вдосконалюють свій продукт.

Оптичним датчиком є власна камера Cmos Ethernet (рис. 2.6) з широким динамічним діапазоном для надійної роботи в контрастному освітленні. Камера переважно працює зі зеленим та червоним спектром.



Рис. 2.6. Монітор та камера компанії Tillett and Hague Technology

Корпус камери виготовлений з алюмінію, що робить його герметичним та міцним. Зображення аналізується модулем керування з швидкістю 30 кадрів в секунду і виводиться на екрані. Для роботи використовує метод накладання ліній та решіток на зображення рядків посівів це дозволяє працювати з великим діапазоном міжрядь до 140 см та швидкістю до 15 км/год [17]. Система працює за загальним принципом. Inter-row дозволяє робити бокове зміщення відносно центру до 30 см. Як і в попередніх випадках можлива робота і в темний час доби. У випадку коли посіви сильно засмічені, робота на схилах чи вузьких міжряддях для коректної

роботи встановлюють другу додаткову камеру, але на іншій висоті та під іншим кутом. Монітор може підтримувати до чотирьох камер одночасно [24].

До переваг варто віднести ще можливість ручного корегування культиватора, широкий діапазон вхідної напруги від 5 до 20 вольт, можливість оновлення та встановлення прошивок через порт USB. Суттєвим недоліком є не сумісність з системою Isobus. Inter-row чудова система яка повністю виконує свою задачу та є доступною по ціні на ринку [12].

2.4 Огляд і порівняльна характеристика українських виробників культиваторів для міжрядного обробітку ґрунту

В Україні виробництво культиваторів для міжрядного обробітку є розвинутою галуззю, через свою відносну простоту та затребуваність на ринку. Популярними є наступні виробники: Велес, Elvorti, Demetra,, Фаворит, АРК-ГРУПП, АгроЛига, «Агромаш-Калина», Ремсинтез, АЗТех-Україна, avers-agro. На жаль більшість виробників виготовляє повні копії або з невеликими відмінностями культиватори типу КРН, що випускались за часів СРСР. Декілька компаній удосконалило конструкцію, або розробило свою.

Вінницьке підприємство "Агромаш-Калина" презентувала ринку новий культиватор модель КуМ (рис. 2.7), який вирізняється багатофункціональністю, надійністю та використанням сучасних технологій та матеріалів. Агрегат призначений для міжрядного обробітку посівів, знищення бур'янів, розпушення ґрунту та має можливість вносити добрива. Стальна суцільна рама квадратного перерізу слугує основою конструкції. На ню встановлюють регульовані секції, відстань між якими можна налаштується в межах від 45 до 70 см. Висота проходу рами сягає 75 см, що гарантує ефективну роботу на будь-яких ґрунтах.



Рис. 2.7. Культиватор КуМ "Агромаш-Калина"

Головною новацією культиватора КуМ є паралелограмний механізм підвіски секції, він дозволяє точно копіювати рельєф поля, підтримувати задану глибину обробітку, мінімізувати поперечні люфти робочих органів. Подвійна пружина в конструкції створює тиск до 150 кг на секцію, що гарантує ефективне заглиблення робочих органів навіть на твердих ділянках і при високій швидкості руху.

В залежності від бажання та потреб клієнта робочі органи підбираються індивідуально. Передбачено широкий вибір лап, бритв, пальцевих робочих органів, щитків та іншого оснащення, для максимально ефективного обробітку по всіх типах ґрунтів та видах культур. Цікавим технологічним рішенням є розташування робочих органів: перший з них розташований під паралелограмним механізмом, що покращує заглиблення навіть у складних умовах.

Виробник використовує сучасні втулки з композитного матеріалу TEKRONE (термопласт), що мають самозмащувальні властивості, вищою зносостійкістю та ударостійкістю ніж сталь. "Агромаш-Калина" пропонує широкий набір додаткових опцій для культиватора КуМ: системи внесення сухих гранульованих і рідких добрив. Даний культиватор ідеально підходить для середніх та великих фермерів, та легко адаптується під будь які умови використання.

Avers-Agro - молода українська компанія, що спеціалізується на виробництві культиваторів для міжрядного обробітку ґрунту, розглянемо модель GREEN RAZOR. Avers-Agro вирізняється своєю клієнтоорієнтованістю, покупець має вибір не лише робочі органи ай тип рами (рис. 2.8 *а*) для більшості культиваторів існує два типи рам це звичайна суцільна яка не завжди є практичною і зручною та складну раму яка в транспортному положенні ширина складає три метри, складається за допомогою гідроциліндрів.



Рис. 2.8. Культиватор GREEN RAZOR

а – загальний вигляд культиватора; *б* – секція з робочими органами

Ширина міжрядь регулюється в діапазоні від 45 см до 70 см. Компанія випускає культиватори із шириною захвату 4,2 м, 5,6 м, 8,4 м, 9,8 м та 11,2 м, висота рами над поверхнею ґрунту 90 см, що дозволяє виконувати обробіток навіть на пізніх стадіях вегетації культур. Передбачено можливість встановлення на всі моделі систем внесення сухих гранульованих та рідких добрив. Виробник виробляє два типи паралелограмних секцій, одна не регульована інша має регулювання стійки по висоті, для більш точно обробітку поля. Кожна секція обладнана запобіжною пружиною, яка забезпечує оптимальне притискне зусилля і стабільне утримання глибини обробітку ґрунту. Завдяки чотирьом платформам кріплення є можливість

встановлення різних комбінації робочих органів, що робить агрегат універсальним для різних умов експлуатації (рис. 2.8 б). Загалом, GREEN RAZOR від компанії Avers-Agro є ефективним та сучасним культиватором для міжрядного обробітку ґрунту, який відповідає вимогам сучасного землеробства.

Світ культиваторів для міжрядного обробітку є надзвичайно різноманітним і перебуває в стані постійного розвитку. Ці агрегати посідають важливе місце у сучасному сільському господарстві, через свою ефективність та раціональність використання. Культиватори виступають незмінними помічниками аграрія у боротьбі за високі врожаї, поєднуючи функціональність, продуктивність та технологічність.

Асортимент робочих органів і технічних рішень сучасних культиваторів здатний задовольнити найрізноманітніші потреби агрономів. Вдосконаленні паралелограмні механізми, гарантують точне копіювання рельєфу поля, застосування складних рам забезпечує зручність транспортування, нові типи робочих органів, системи точного ведення по траєкторії рядка – усе це підтверджує безперервний процес удосконалення та модернізації сільськогосподарських машин.

Важливо, що правильний вибір моделі культиватора та його раціональне використання безпосередньо впливають на економічну ефективність господарства. Вдало підібраний агрегат та методика обробітку істотно підвищують врожайність та головне прибутки з кожного гектара.

Таким чином, культиватори для міжрядного обробітку ґрунту є одним з ключових інструментів сучасного землеробства. Їх постійне вдосконалення та впровадження сучасних технологій є запорукою сталого та успішного розвитку сільського господарства.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА ТА КОНСТРУКТИВНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УНІВЕРСАЛЬНОЇ СИСТЕМИ КОПІЮВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ РЯДКІВ КУЛЬТИВАТОРА

3.1 Обґрунтування вибору базового культиватора та електронної частини удосконалення

Проаналізувавши світові та локальні тенденції розвитку міжрядного обробітку ґрунту можна дійти висновку, що українському ринку сільгосптехніки існує значна потреба в універсальній системі копіювання траєкторії рядків культиватора, яка може бути легко встановлена на більшість культиваторів вітчизняних та закордонних виробників. Ця система повинна мати суттєві переваги, які зроблять її вкрай важливою для розвитку українського агросектору. Вона буде значно дешевшою, ніж придбання нового культиватора з вже вбудованою системою. Це дозволить фермерам заощадити кошти та продовжити використовувати наявні в господарстві культиватори до яких вони звикли та знають як з ними працювати. Також це позитивно вплине на розвиток українського аграрного сектору.

На сучасному етапі розвитку вітчизняні виробничі потужності не дозволяють виготовляти електронні компоненти для функціонування систем точного ведення культиватора по траєкторії рядків. До таких елементів належать: камера, екран, контролер та інші, без яких робота системи неможлива.

Провівши аналіз наявних на ринку систем та технічних рішень. Призначених для міжрядного обробітку ґрунту, було встановлено, що на даний час найбільш доцільним є рішення використання у системі електронної частини Inter-row від німецького виробника Tillet and Hague Technology. Ця система відзначається оптимальним співвідношенням ціни та функціональних можливостей, а також високим рівнем сумісності та інтеграції з розробками, адже розробники відкриті до

співпраці та адаптації своїх компонентів. Що особливо важливо для адаптації до умов вітчизняного виробництва. Водночас не можна виключати можливість, що у найближчій перспективі на ринку з'явиться інші виробники, здатні запропонувати краще технічне рішення як по вартості так і по технологічних можливостях [24].

Вибрана система має ряд технічних характеристик які нас повністю задовольняють. Система здатна одночасно розпізнавати до п'яти рядів посівів, допустимий діапазон міжрядь становить від 35 до 140 см, що повністю відповідає поширеним в Україні стандартам посівів кукурудзи 50 та 70 см, та іншим поширеним просапним культурам. Отримане зображення з відеокамери аналізується з частотою 30 кадрів в секунду та надходить на дисплей розташований в кабіні трактора. Система дозволяє коректно працювати на швидкості до 18 км/год. Особливістю є використання відео аналітики на основі розпізнавання рослин на основі їх пігментації, полегшуючи розрізняння бур'янів та культурної рослини

Данна автоматична система забезпечує точний обробіток посівів за умов нахилу рельєфу чи в темний час доби. Для підвищення якості та стабільності обробки використовується підсвічування зони дії відеокамери за допомогою звичайної фари. У випадку значної засміченості посівів на рамі культиватора додатково встановлюється ще одна відеокамера під іншим кутом, що покращує точність ведення [12].

Опираючись на наявні данні, досвід провідних світових виробників, та результати випробувань, було встановлено основні характеристики якими повинен володіти культиватор обладнаний системою автоматичного копіювання траєкторії рядків:

- максимальну швидкість руху культиватора 16,2 км/год (4,5м/с);
- швидкість бокового зміщення 3,6 км/год (0,2 м/с);
- максимальне зміщення до крайньої точки (0,20 м).

Для розрахунку удосконалення обрано культиватор вітчизняного виробництва "Агромаш-Калина" КУМ 9.8 12-ти рядковий. Маса культиватора без системи

внесення добрив складає 2000 кг та максимальна дозволена швидкість експлуатації 16 км/год, що підходить під вимоги. Технічні характеристики наведені в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

Технічні характеристики культиватора КУМ 9.8

Параметр	Значення
Продуктивність, га/год	До 16
Робоча швидкість, км/год	До 16
Ширина захвату, м	8,4
Глибина ґрунтообробітку, мм	90
Параметр	Значення
Кількість робочих органів, шт	13
Габаритні розміри:	-
В робочому положенні: довжина, ширина, висота, мм	10300, 2400, 1700
В транспортному положенні: довжина, ширина, висота, мм	7300, 2400, 3000
Маса, кг	2000
Агрегується з тракторами, к.с.	Від 150

3.2. Розрахунок гідравлічної частини

Для розрахунку гідравлічної частини основними вихідними даними є зусилля на штокові. Для отримання найбільш точного значення цієї сили необхідно врахувати дію інерційних навантажень, опір ґрунту та безліч інших чинників. З метою коректності розрахунків використаємо технічні рішення вже існуючих моделей культиватора. Як приклад обрано подібний до нашого 12-ти рядковий культиватор POTTINGER FLEXCARE V 9200 масою 2500 кг. У його конструкції застосовується одноштоковий гідроциліндр типу ГЦ 80-40-700, який працює при тиску 120 та 160 Па. Використання різних значень тиску дозволяє забезпечити однакове зусилля на штокові на виштовхування та втягування [11].

Розрахуємо зусилля на штокові:

$$F_{\text{ш}} = \frac{P_{\text{ном}} \cdot S}{K_{\text{пз}}}, \quad (3.1)$$

$$F_{\text{ш}} = \frac{12 \cdot 10^6 \cdot \pi \cdot 0,08^2}{1,2 \cdot 4} = 50265,48 \text{ Н}$$

Для розрахунку прийmemo величину 50000 Н.

Необхідно також визначити швидкість поперечного зміщення культиватора, оскільки саме вона забезпечує компенсацію відхилення трактора від заданої траєкторії. Для розрахунку прийmemo, що середня відстань між осями тракторів потужністю 200-400 к.с. становить близько 3,5м, а відстань від задньої осі до робочих органів ще 1 м. У сумі отримаємо 4,5 м. При русі з максимальною швидкістю культиватор подолає цю відстань за:

$$t = \frac{l}{v}, \quad (3.2)$$

$$t = \frac{4,5}{4,5} = 1 \text{ с}$$

Таким чином за 1секунду культиватор повинен зміститися з середнього (нульового положення) до крайнього, подолавши відстань 200 мм. Відповідно, щоб пройти хід штока довжиною 400 мм. Потрібно 2 секунди.

Попередній розрахунок параметрів гідроциліндра:

Вихідні дані:

- Зусилля на штокові: 50000 Н.
- Час операції: 2 с.
- Довжина штока: 4000 мм.

Для забезпечення однакової сили, як при виштовхуванні, так і при втягуванні та спрощення конструкції розподільника використаємо двохштоковий гідроциліндр.

Необхідна площа поршня розраховується за формулою:

$$S = \frac{F_{\text{ш}} K_{\text{пз}}}{P_{\text{ном}}}, \quad (3.3)$$

де $F_{\text{ш}}$ – зусилля на штокові гідроциліндра, Н;

$K_{\text{пз}}$ - коефіцієнт запасу за зусиллям (= 1,15-1,23) ;

$P_{\text{ном}}$ - номінальний тиск, Па;

Номінальний тиск становить 160 Бар = 16 МПа;

$$S = \frac{50000 \cdot 1,2}{16 \cdot 10^6} = 0,00375 \text{ м}^2$$

Розрахунок діаметра поршня:

Оскільки використовуємо двохштоковий гідроциліндр при розрахунку діаметра поршня потрібно врахувати особливість конструкції циліндра, тобто відняти площу перерізу штоку. Спираючись на відкриті дані, конструкції готових культиваторів, на міжнародні стандарти HYDRAULIC CYLINDERS ISO 6020/2, ISO-12240-4-1998 [22-23] для розрахунку гідроциліндрів приймемо стандартний діаметр штоку 36 мм. Складемо рівняння для визначення діаметра поршня:

$$0,00375 = \frac{\pi \cdot D_{\text{п}}^2}{4} - \frac{\pi \cdot 0,036^2}{4}, \quad (3.4)$$

$$0,015 = \pi \cdot D_{\text{п}}^2 - \pi \cdot 0,001296$$

$$\frac{0,015}{\pi} = D_{\text{п}}^2 - 0,001296$$

$$0,00477 + 0,001296 = D_{\text{п}}^2$$

$$D_{\text{п}} = \sqrt{0,006066}$$

$$D_{\text{п}} = 0,0778 \text{ м}$$

Прийmemo $D_{\text{п}} = 0,08 \text{ м}$

Діаметр штока та поршня відповідають один одному згідно стандарту HYDRAULIC CYLINDERS ISO 6020/2, тобто для подальшого розрахунку приймаємо їх.

Швидкість поршня:

$$V_n = \frac{l}{t}, \quad (3.5)$$

де l – хід штока, м;

t - тривалість операції, с;

$$V_n = \frac{0,4}{2} = 0,2 \text{ м/с}$$

Прийmemo 0,2 м/с.

Після проведення розрахунків згідно стандартів було накреслено кресленик необхідного гідроциліндра (рис 3.1).

Розрахуємо потужність гідропривода:

$$N_r = F_{\text{ш}} \cdot V_n, \quad (3.6)$$

$$N_r = 50000 \cdot 0,2 = 10000 \text{ Вт}$$

Розрахункова потужність привода:

$$N_{rp} = K_3 \cdot K_{\text{ш}} \cdot N_r, \quad (3.7)$$

де K_3 – коефіцієнт запасу за зусиллям $K_3 = 1,15 \dots 1,25$;

$K_{\text{ш}}$ – коефіцієнт запасу за швидкістю $K_{\text{ш}} = 1,2 \dots 1,4$;

$$N_{rp} = 1,2 \cdot 1,3 \cdot 10000 = 15600 \text{ Вт}$$

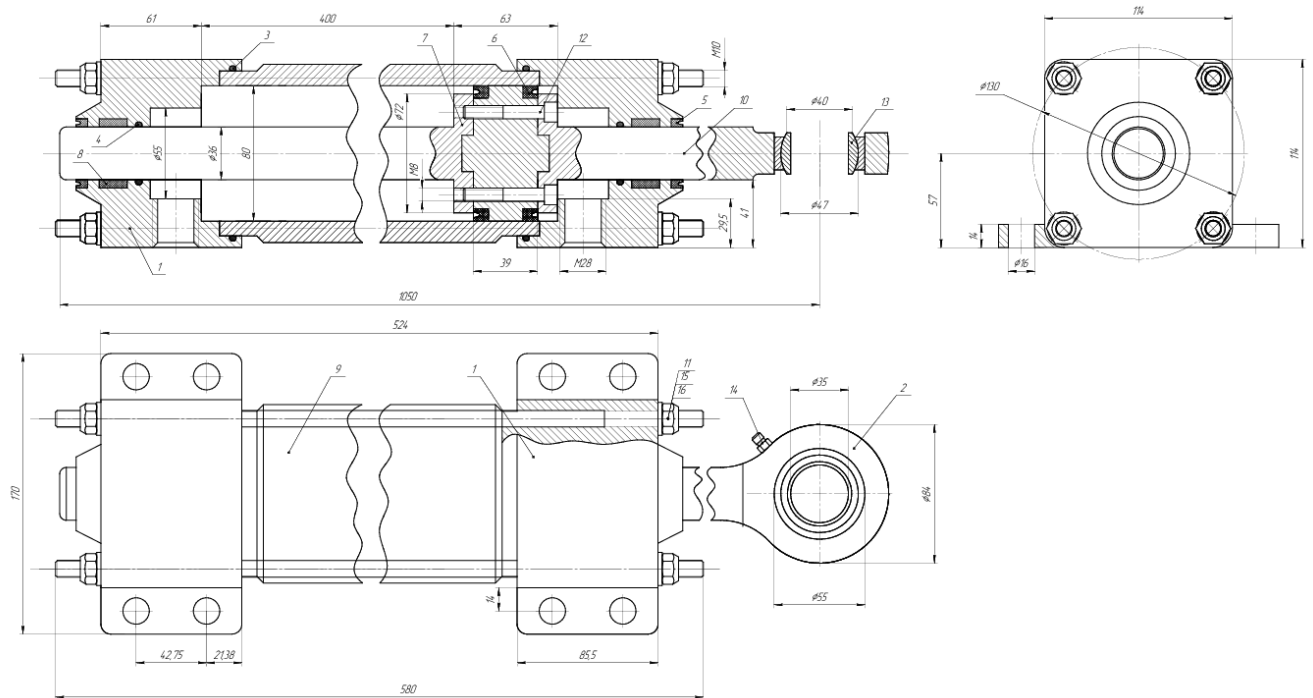


Рис. 3.1. Двохштоковий гідроциліндр

Необхідна подача насоса для забезпечення заданих вимог:

$$Q' = \frac{N_{rp}}{P_{ном}}, \quad (3.8)$$

$$Q' = \frac{15600}{16000000} = 0,000975 \text{ м}^3/\text{с} = 0,975 \text{ л/с} = 58,5 \text{ л/хв}$$

Таку подачу робочої рідини здатен видати будь-який сучасний трактор. Тому в нашому випадку використаємо гідравлічну систему трактора

Розрахунок трубопроводу:

Визначимо внутрішній діаметр трубопроводу :

$$d_{наг} = \sqrt{\frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot V_p}}, \quad (3.9)$$

де Q - номінальна подача м³/с;

V_p - швидкість потоку робочої рідини м/с в нашому випадку = 5,5 м/с оскільки це напірний рукав та тиск понад 15 МПа;

$$d_{\text{нар}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,001}{3,14 \cdot 5,5}} = 0,0152 \text{ м}$$

Отримане значення округлюємо до найближчого більшого стандартного розміру 0,016м = 16 мм. Обираємо стандартний рукав високого тиску (РВТ) з внутрішнім діаметром 16 мм., та зовнішнім 34 мм. Та трьома шарами металевої обплітки, оскільки РВТ працюватиме у важких умовах та високих тисках.

У гідравлічній схемі використаємо трьох позиційний розподільник з електромагнітним керуванням, а також гідравлічний замок для чіткої та непорушної фіксації штока гідроциліндра (рис 3.2).

Проведемо перевірочний розрахунок:

Середня швидкість руху рідини:

$$V_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{нар}}^2}, \quad (3.10)$$

$$V_p = \frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 0,016^2} = 4,98 = 5 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_p \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (3.11)$$

$$Re = \frac{5 \cdot 0,016}{57 \cdot 10^{-6}} = 1403$$

$Re = 1403 < Re_{кр} = 2100$, отже режим руху рідини ламінарний;

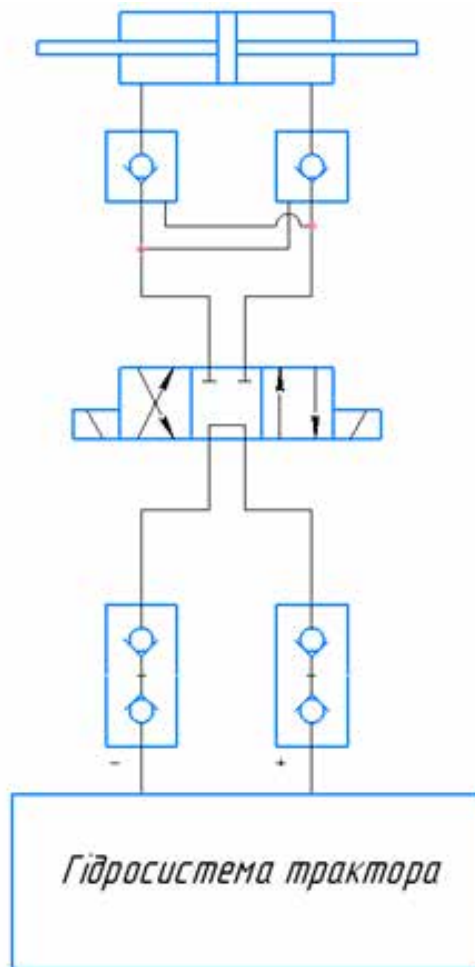


Рис. 3.2. Принципова схема гідравлічної системи зміщення культиватора

Коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\lambda = \frac{75}{Re}, \quad (3.12)$$

$$\lambda = \frac{75}{1403} = 0,0534$$

Шляхові втрати тиску на прямолінійних ділянках напірного трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{шн}} = \frac{\lambda \cdot L \cdot V_p^2 \cdot \rho}{2d_{\text{вн}}}, \quad (3.13)$$

де L - довжина трубопроводу = 2м;

$$\Delta P_{\text{шн}} = \frac{0,0534 \cdot 2 \cdot 5^2 \cdot 870}{2 \cdot 0,016} = 72591 \text{Па} = 0,07 \text{МПа}$$

Місцеві втрати тиску рідини у напірному трубопроводі:

$$\Delta P_{\text{мн}} = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot \sum \varepsilon}{2}, \quad (3.14)$$

де $\sum \varepsilon$ – сума коефіцієнтів місцевого опору:

$$\sum \varepsilon = 1,4 + 0 + 4 \cdot 0,1 = 1,8$$

де А – пряме коліно $E = 1,4$ – 1 шт;

Б – трійник = 2 – 0 шт;

В штуцер = 0,1 – 4 шт;

$$\Delta P_{\text{мн}} = \frac{5^2 \cdot 870 \cdot 1,8}{2} = 19575 \text{Па} = 0,020 \text{МПа}$$

Втрати тиску рідини у гідроагрегатах напірного трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{гн}} = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot \sum \varepsilon_{\text{гн}}}{2}, \quad (3.15)$$

де $\varepsilon_{\text{гн}}$ – 4 коефіцієнт опору гідророзподільника;

$$\Delta P_{\text{гн}} = \frac{5^2 \cdot 870 \cdot 4}{2} = 43500 \text{Па} = 0,0435 \text{МПа}$$

Зливний трубопровід є ідентичним по характеристикам з напірним тому використано спільні значення:

Середня швидкість руху рідини:

$$V_p = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d_{\text{злив}}^2}, \quad (3.16)$$

$$V_p = \frac{4 \cdot 0,01}{3,14 \cdot 0,016^2} = 4,98 = 5 \text{ м/с}$$

Число Рейнольдса:

$$Re = \frac{V_p \cdot d_{\text{вн}}}{\nu}, \quad (3.17)$$

$$Re = \frac{5 \cdot 0,016}{57 \cdot 10^{-6}} = 1403$$

$Re = 1403 < Re_{\text{кр}} = 2100$, отже режим руху рідини ламінарний;

Коефіцієнт гідравлічного тертя:

$$\lambda = \frac{75}{Re}, \quad (3.18)$$

$$\lambda = \frac{75}{1403} = 0,0535$$

Шляхові втрати тиску на прямолінійних ділянках зливного трубопроводу :

$$\Delta P_{\text{шз}} = \frac{\lambda \cdot L \cdot V_p^2 \cdot \rho}{2d_{\text{вн}}}, \quad (3.19)$$

де L - довжина трубопроводу = 2 м;

$$\Delta P_{\text{шз}} = \frac{0,0375 \cdot 2 \cdot 5^2 \cdot 870}{2 \cdot 0,016} = 72591 \text{ Па} = 0,07 \text{ МПа}$$

Місцеві втрати тиску рідини у зливному трубопроводі:

$$\Delta P_{\text{мн}} = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot \sum \varepsilon}{2}, \quad (3.20)$$

де $\sum \varepsilon$ – сума коефіцієнтів місцевого опору:

$$\sum \varepsilon = 1,4 + 0 + 4 \cdot 0,1 = 1,8$$

де А – пряме коліно $E = 1,4 - 1$ шт;

Б – трійник $= 2 - 0$ шт;

В штуцер $= 0,1 - 4$ шт;

$$\Delta P_{\text{мз}} = \frac{5^2 \cdot 870 \cdot 1,8}{2} = 19575 \text{ Па} = 0,020 \text{ МПа}$$

Втрати тиску рідини у гідроагрегатах зливного трубопроводу:

$$\Delta P_{\text{гз}} = \frac{V_p^2 \cdot \rho \cdot \sum \varepsilon_{\text{г}}}{2}, \quad (3.21)$$

де $\varepsilon_{\text{г}}$ – 4 коефіцієнт опору гідророзподільника

$$\Delta P_{\text{гз}} = \frac{5^2 \cdot 870 \cdot 4}{2} = 43500 \text{ Па} = 0,0435 \text{ МПа}$$

Сумарні шляхові втрати тиску:

$$\begin{aligned} \sum \Delta P_{\text{ш}} &= \Delta P_{\text{шн}} + \Delta P_{\text{шз}}, \\ \sum \Delta P_{\text{ш}} &= 0,07 + 0,07 = 0,14 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Сумарні місцеві втрати тиску:

$$\begin{aligned}\sum \Delta P_M &= \Delta P_{MH} + \Delta P_{M3}, \\ \sum \Delta P_M &= 0,020 + 0,020 = 0,04 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (3.22)$$

Сумарні втрати тиску в гідроагрегатах:

$$\begin{aligned}\sum \Delta P_G &= \Delta P_{GH} + \Delta P_{G3}, \\ \sum \Delta P_G &= 0,0435 + 0,0435 = 0,087 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (3.23)$$

Загальна величина втрат тиску в гідроприводі:

$$\begin{aligned}\Delta P &= \sum \Delta P_{SH} + \sum \Delta P_M + \sum \Delta P_G, \\ \Delta P &= 0,14 + 0,04 + 0,087 = 0,267 \text{ МПа}\end{aligned}\quad (3.24)$$

ΔP повинен складати менше 10%. Отже гідропривід спроектований оптимально.

Розрахунок ККД гідропривода:

Об'ємний ККД:

$$\begin{aligned}\eta_v &= \eta_{vH} \cdot \eta_{vP} \cdot \eta_{vЦ}, \\ \eta_v &= 0,92 \cdot 0,98 \cdot 0,99 = 0,893\end{aligned}\quad (3.25)$$

де $\eta_{vH}, \eta_{vP}, \eta_{vЦ}$ - відповідно об'ємний ККД: насоса, розподільника, гідроциліндра тощо (вибирають із технічних характеристик).

Гідравлічний ККД:

$$\begin{aligned}\eta_r &= \frac{P_{НОМ} - \Delta P}{P_{НОМ}}, \\ \eta_r &= \frac{16 - 0,267}{16} = 0,983\end{aligned}\quad (3.26)$$

Механічний ККД:

$$\begin{aligned}\eta_M &= \eta_{MH} \cdot \eta_{MP} \cdot \eta_{MЦ}, \\ \eta_M &= 0,94 \cdot 0,96 \cdot 1 = 0,902\end{aligned}\quad (3.27)$$

де $\eta_{мн}$, $\eta_{мр}$, $\eta_{мц}$ – відповідно механічні ККД: насоса, розподільника, гідроциліндра (вибирають із технічних характеристик; приймають $\eta_{мц}=1$).

Повний ККД:

$$\eta_{п} = \eta_v \cdot \eta_r \cdot \eta_m, \quad (3.28)$$

$$\eta_{п} = 0,893 \cdot 0,983 \cdot 0,902 = 0,79$$

Гідропривід спроектований оптимально, тому що отримане значення в межах ($\eta_{пов} = 0,6 - 0,8$).

Уточнений розрахунок гідроциліндра:

$$D_y = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{F_{ш}}{z \cdot (P_{ном} - \Delta P_H) \cdot \eta_{мц} \cdot \eta_H}}, \quad (3.29)$$

$$D_y = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{50000}{1 \cdot 10^6 \cdot (16 - 0,267) \cdot 1 \cdot 0,98}} = 0,0644 \text{ м}$$

де $\eta_{мц}$ – механічний ККД гідроциліндра, $\eta_{мц} = 1$;

η_H – ККД шарнірного з'єднання гільзи (підшипника), $\eta_H = 0,98$;

Врахуємо що використовуємо двохштоковий гідроциліндр та знайдемо площу штока та зрівняємо її з площею яку розраховували в попередньому розрахунку.

$$S_y = \frac{\pi \cdot D_y^2}{4}, \quad (3.30)$$

$$S_y = \frac{\pi \cdot 0,0643^2}{4} = 0,00325 \text{ м}^2$$

$S = 0,00375 > S_y = 0,00325$. Площа при попередньому розрахунку дещо більша, тому залишаємо обрані вище параметри гідроциліндра.

Перевірка подачі насоса:

$$Q_H = \frac{S \cdot V_{\Pi}}{\eta_V}, \quad (3.31)$$

$$Q_H = \frac{0,00375 \cdot 0,2}{0,893} = 0,00084, \text{ м}^3/\text{с}$$

де η_V – об'ємний ККД гідропривода

$$Q_H < Q, \quad (3.32)$$

Оптимальне значення Q_H повинно бути не більше значення Q , прийнятого раніше.

$$Q_H = 0,00084 < Q = 0,000975$$

Отже умова виконується. Гідро привід розрахований оптимально [16]

3.3. Конструкція перехідної трьохточкової рамки, що зміщується

Рамка виготовлена з квадратного прокату сталі 140 мм та прокатних листів різної товщини від 20 до 40 мм. сталі марки Ст3сп ДСТУ 2651. Вали по яких переміщується частина рамки виконані з хромованої сталі марки 45 (С45Е). Зварювання проводиться електродуговим способом з використанням електродів марки Е46. Для різьбових з'єднань використовуються стандартні метизи з класом міцності 8,8 та 10,9. Для наглядності було спроектовано 3-D модель та кресленик рамки в зборі (рис 3.3).

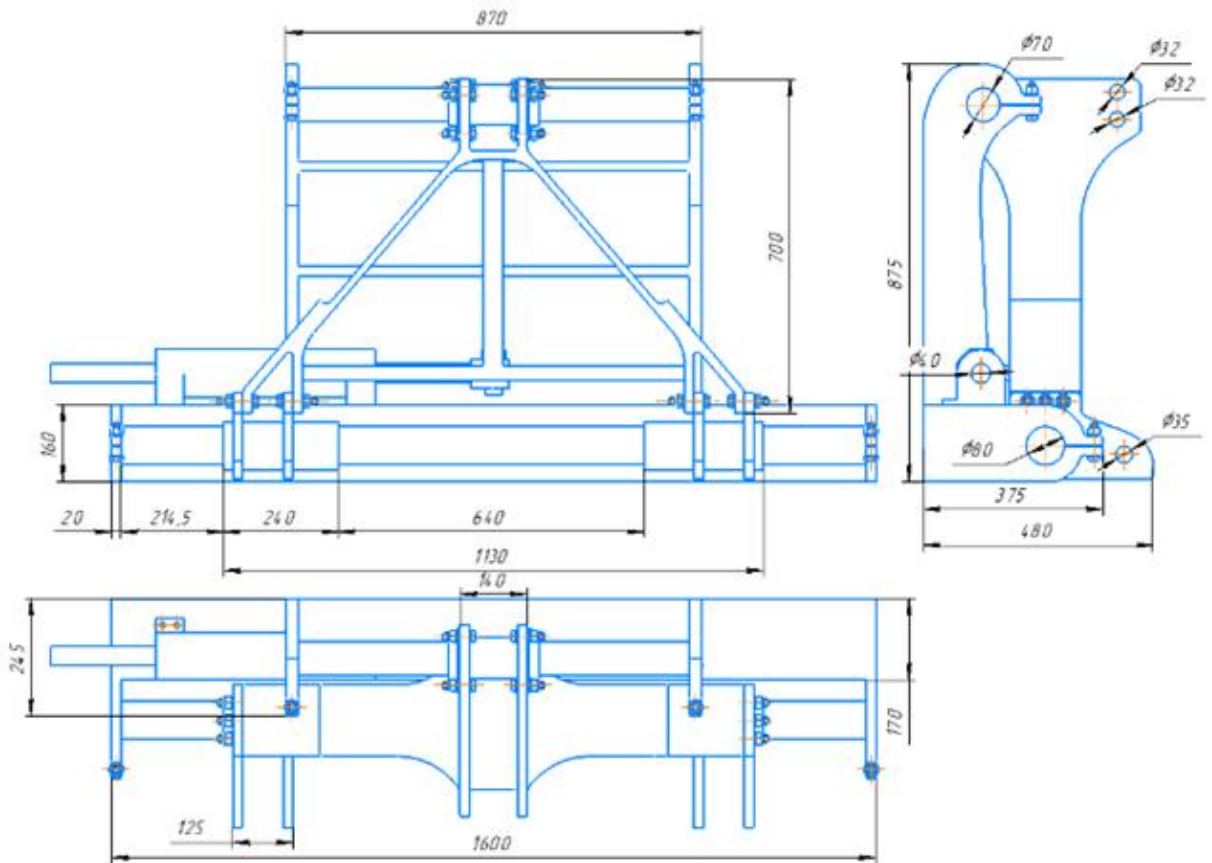
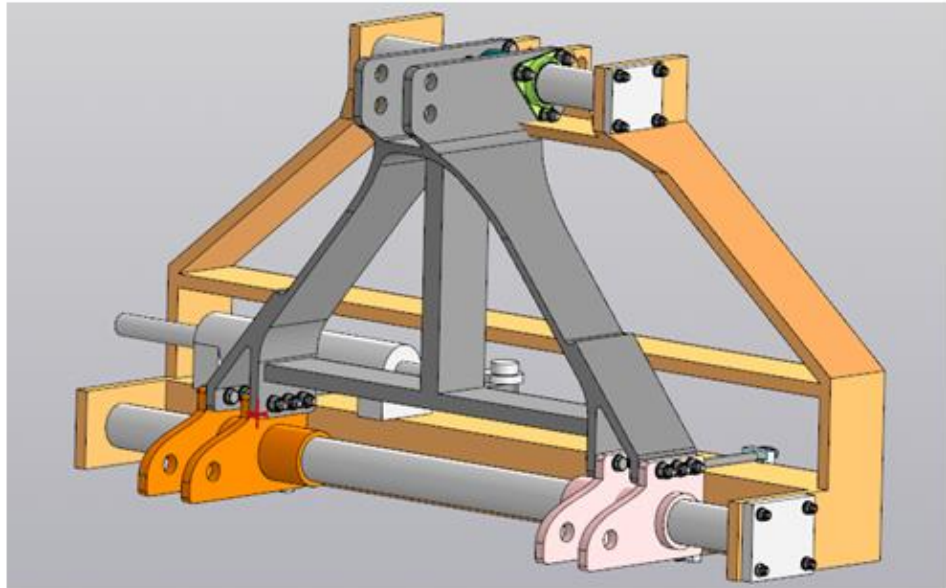


Рис. 3.3. Перехідна триточкова розроблена рамка удосконалення

3.4. Тяговий розрахунок

Вихідні дані для тягового розрахунку:

- Трактор - CASE PUMA 210
- Трактор повнопривідний - 4к4
- Номінальні оберти двигуна: $n_n = 1850$ об/хв
- Номінальна потужність трактора: $N_{ен} = 157$ кВт
- Масса трактора: $M_T = 7000$ кг
- Теоретична швидкість руху: $v_{т1} = 18,5$ км/год
- Зовнішній діаметр шини: $D_k = 1960$ мм
- Кількість конічних пар: $\alpha = 7$
- Кількість циліндричних пар: $\beta = 2$
- Коефіцієнт зчеплення ведучого апарату з ґрунтом: $\mu = 0,58$
- Коефіцієнт опору коченню: $f = 0,1$
- Кут нахилу місцевості – 0

Визначення складових тягового балансу трактора:

Радіус кочення колеса колісного трактора:

$$r_k = \lambda \cdot \frac{D_k}{2}, \quad (3.36)$$

де D_k – зовнішній діаметр шини;

λ – коефіцієнт усадки шини;

$$r_k = 0,9 \cdot \frac{1,960}{2} = 0,882 \text{ м}$$

Визначення механічного ККД трансмісії трактора:

$$\eta_{TP} = \eta_K^\alpha \cdot \eta_{\text{ц}}^\beta \cdot \eta_{\Gamma}, \quad (3.36)$$

$$\eta_{TP} = 0,98^7 \cdot 0,96^2 \cdot 1 = 0,80$$

де $\eta_K, \eta_{\text{ц}}$ – коефіцієнт корисної дії конічної та циліндричної пари шестерень

$$\eta_{\text{ц}} = 0,98, \eta_K = 0,96;$$

α і β – кількість пар конічних і циліндричних в зачепленні; для колісних тракторів $\eta_{\Gamma} = 1,0$);

Знаходимо передаточне число трансмісії:

$$i_{TP} = \frac{0,377 \cdot n_H \cdot r_K}{v_T}, \quad (3.37)$$

де v_T – теоретична швидкість руху трактора, км/год;

n_H – номінальні оберти двигуна;

$$i_{TP} = \frac{0,377 \cdot 1850 \cdot 0,882}{18,5} = 33,251$$

Дотичну силу тяги визначимо за формулою:

$$P_{\text{дот}} = \frac{9,554 \cdot n_H \cdot i_{TP} \cdot \eta_{TP}}{r_k \cdot n_H}, \quad (3.38)$$

$$P_{\text{дот}} = \frac{9,554 \cdot 157 \cdot 33,25 \cdot 0,80}{0,882 \cdot 1850} = 24,46 \text{ кН}$$

Максимальна сила зчеплення:

$$F_{\text{max}} = \mu \cdot G_{\text{зч}}, \quad (3.39)$$

де $G_{зч}$ – зчіпна сила ваги трактора, Н; Для колісних тракторів формули 4К4:

$$G_{зч} = G_T = 7000 \cdot 9,8 = 68600 \text{ Н};$$

μ – коефіцієнт зчеплення ведучого апарата з ґрунтом;

$$F_{max} = 0,45 \cdot 68600 = 30,87 \text{ кН}$$

Опір коченню трактора визначимо за формулою:

$$P_f = f \cdot G_T, \quad (3.40)$$

$$P_f = 0,1 \cdot 68600 = 6,86 \text{ , кН}$$

Сила опору трактора на підйом:

$$P_i = G_T \cdot \frac{i}{100}, \quad (3.41)$$

$$P_i = 68,6 \cdot \frac{0}{100} = 0 \text{ , кН}$$

Рушійна сила $P_{руш} = P_{дот}$, якщо $P_{дот} < F_{max}$;

Тобто:

$$P_{руш} = 24,45 \text{ кН}$$

Сила тяги на гаку трактора:

$$P_{гак} = P_{руш} - P_f - P_i, \quad (3.42)$$

$$P_{гак} = 24,45 - 6,86 - 0 = 17,59 \text{кН}$$

Для опису балансу потужності трактора використовують наступне рівняння:

$$N_e = N_{гак} + N_{тр} + N_{\delta} + N_f + N_i + N_{ВВП}, \quad (3.43)$$

де N_e – потужність двигуна трактора кВт;

$N_{гак}$ – тягова потужність трактора кВт;

N_{Tp} – втрати потужності в трансмісії кВт;

N_{δ} – втрати потужності на буксування кВт;

N_f – втрати потужності на переміщення кВт;

N_i – втрати потужності на підйом кВт;

$N_{ВВП}$ – потужність яка реалізується через ВВП кВт;

Робоча швидкість трактора:

$$v_p = v_T \cdot h_{\delta}, \quad (3.44)$$

$$h_{\delta} = 1 - \frac{\delta}{100}, \quad (3.45)$$

де δ – коефіцієнт пробуксовки, для трактора 4к4 $\delta = 14$

$$h_{\delta} = 1 - \frac{14}{100} = 0,86$$

$$v_p = 18,5 \cdot 0,86 = 15,9 \text{ км/год}$$

Потужність яка витрачається на підйом трактора:

$$N_i = \frac{P_i \cdot v_p}{3,6}, \quad (3.46)$$

$$N_i = \frac{0 \cdot 15,9}{3,6} = 0 \text{ кВт}$$

Потужність яка витрачається на переміщення трактора:

$$N_f = \frac{P_f \cdot v_p}{3,6}, \quad (3.47)$$

$$N_f = \frac{6,86 \cdot 15,9}{3,6} = 30,32 \text{ кВт.}$$

Потужність яка витрачається на пробуксовку трактора:

$$N_{\delta} = N_e \cdot \eta_p \cdot \frac{\delta}{100}, \quad (3.48)$$

$$N_{\delta} = 157 \cdot 0,8 \cdot \frac{14}{100} = 17,58 \text{ кВт.}$$

Витрати потужності на тертя в трансмісії:

$$N_{\text{тр}} = (1 - \eta_{\text{ТР}}) \cdot N_e, \quad (3.49)$$

$$N_{\text{тр}} = (1 - 0,8) \cdot 157 = 31,4 \text{ кВт}$$

Витрати потужності на ВВП складають 0 кВт, оскільки він використовується.

Розрахуємо тягову потужність трактора:

$$N_{\text{гак}} = N_e - (N_{\text{тр}} + N_{\delta} + N_f + N_i + N_{\text{ВВП}}), \quad (3.50)$$

$$N_{\text{гак}} = 157 - (31,4 + 17,58 + 30,32 + 0 + 0) = 77,7 \text{ кВт}$$

Розрахуємо повний ККД:

$$\mu_{\text{п}} = \frac{N_{\text{гак}} + N_{\text{ВВП}}}{N_e}, \quad (3.51)$$

$$\mu_{\text{п}} = \frac{77,7 + 0}{157} = 0,495$$

Розрахуємо питомий опір агрегату для заданої швидкості:

$$K_V = K_0 \cdot [1 + \Pi \cdot (v_p - v_0)], \quad (3.51)$$

де Π – приріст питомого опору агрегату із збільшення робочої швидкості на 1 км/год, $\Pi = 0,03$;

K_0 – питомий опір при швидкості руху $K_0 = 1,5$ для міжрядного обробітку кукурудзи; $v_0 = 5$ км/год;

$$K_V = 1,5 \cdot [1 + 0,03 \cdot (15,91 - 5)] = 1,99 \text{ кН/м.}$$

Розрахуємо максимально можливу ширину захвату для культиватора з міжрядного обробітку.

$$B_{max} = \frac{P_{ГАК}}{K_V + g_M \cdot \left(\lambda \cdot f_{тр} + \frac{i}{100} \right)}, \quad (3.52)$$

де λ – коефіцієнт, що враховує вплив довантаження трактора при роботі

з начіпними сільськогосподарськими машинами на опір коченню трактора частиною $\lambda = 1,3$ для культиватора;

g_M – питома вага сільськогосподарської машини, кН/м, $g_M = 3$ кН/м;

$f_{тр}$ – коефіцієнт опору коченню $f_{тр} = 0,2$;

$$B_{max} = \frac{77,7}{1,99 + 3 \cdot \left(1,3 \cdot 0,2 + \frac{0}{100} \right)} = 28,05 \text{ м}$$

З розрахунку видно, що обраний культиватор "Агромаш-Калина" КУМ 9.8 12-ти рядковий з робочою шириною 8,4 м ефективно працюватиме з трактором CASE PUMA 210. Залишається великий запас потужності який можна додатково реалізувати встановивши додаткову систему внесення добрив.

У цьому розділі було розроблено універсальне удосконалення – перехідну рамку для культиваторів міжрядного обробітку. Для спрощення розрахунків та наглядності базовою моделлю обрано вітчизняний культиватор "Агромаш-Калина" КУМ 9.8.

Універсальна рамка дозволяє підвищити продуктивність та точність агрегату, а також забезпечує можливість роботи в темний час доби. Для електронної складової

використано готове рішення від компанії Tillet and Hague Technology, яке ідеально підходить для обробітку посівів кукурудзи.

Гідравлічна частина та механічна трьохточкова рамка, що забезпечує перпендикулярне зміщення, були розраховані та виконанні креслення. Ці компоненти спроектовані самостійно з врахуванням доступності матеріалів та запчастин, що значно знижує собівартість.

Тяговий розрахунок показав, що спроектоване удосконалення з культиватором добре агрегатується з трактором CFSE IH PUMA 210, який повністю задовольняє технічні вимоги удосконалення.

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ

4.1. Виявлені переваги удосконаленого культиватора під час дослідження

У традиційній системі міжрядного обробітку вся відповідальність за точність руху покладається на механізатора. Він змушений постійно стежити за рядками культур, контролювати положення агрегату, своєчасно реагувати на нерівності, коливання посівів чи зсуви. Така робота вимагає постійної концентрації уваги, особливо коли МТА має працює з високою швидкістю.

Після кількох годин роботи оператор відчуває сильну втому, що призводить до зниження точності, збільшення кількості помилок і навіть ризику травмування рослин. Оператор не в змозі працювати в таких умовах більше 8 – 10 годин.

Автоматичні системи наведення суттєво зменшують це навантаження. Вони самостійно контролюють положення робочих органів відносно рядків, компенсують відхилення і стабілізують рух. Завдяки цьому оператор виконує роль наглядача, а не безпосереднього керівника процесу.

Зниження напруження та фізичного навантаження підвищує комфорт роботи, дозволяє працювати довше без втрати концентрації. Рівень втоми механізатора значно зменшується приблизно на 30–40 %, що позитивно позначається на загальній ефективності праці.

Через зменшення навантаження та ролі механізатора в процесі міжрядного обробітку. З'являється можливість залучати до роботи працівників із меншим досвідом, які швидко проходять навчання й відразу забезпечують високий рівень якості обробітку. Автоматизація процесу вирівнює людський фактор — якість культивації залишається стабільною незалежно від кваліфікації чи вмінь

працівника. Така перевага є важливою у наш час, коли все менше досвідчених та талановитих працівників на ринку праці.

Однією з найвагоміших переваг автоматизованих культиваторів є здатність ефективно працювати навіть у темну пору доби. Раніше міжрядний обробіток обмежувався лише денним часом через необхідність візуального орієнтування по рядках. Автоматичні системи, оснащені камерами, датчиками та навігаційними модулями, дозволяють агрегату точно визначати положення рядків незалежно від часу доби.

Підвищення ефективності використання техніки. Машина може працювати протягом всієї доби, як видно з дослідів добова продуктивність з вдосконаленням за рахунок нічної роботи і збільшення швидкості збільшується на 200-250%, що є вражаючими цифрами. Такі показники дозволяють зменшити парк міжрядних культиваторів в двічі, або кратно збільшити площі під обробіток.

Таким чином, можливість нічної роботи забезпечує гнучкість у плануванні технологічних операцій і дозволяє дотримуватись оптимальних агротехнічних строків навіть за несприятливої погоди або браку часу.

Ще однією з суттєвою перевагою автоматизованого міжрядного обробітку є можливість істотно зменшити захисну зону біля рядка культур.

У традиційній практиці механізатор залишає смугу шириною 8–12 см з обох боків рядка, щоб уникнути пошкодження рослин робочими органами. Ці ділянки залишаються необробленими, і в них зберігаються бур'яни, які продовжують конкурувати з культурними рослинами за вологу, світло й поживні речовини.

Автоматичні системи керування дозволяють вести обробіток із високою точністю — відхилення становить лише кілька сантиметрів. Це дає змогу звужити захисну зону до 3–5 см без втрати швидкості, а в окремих випадках — навіть до 2 см але зі зменшення робочої швидкості.

Такий рівень точності досягається завдяки безперервному контролю положення рядків і миттєвому реагуванню системи на відхилення. Робочі органи рухаються максимально близько до культур, не пошкоджуючи їх.

Переваги зменшення захисної зони:

- Повніше знищення бур'янів. Залишаються практично відсутні неочищені смуги, що суттєво знижує загальну кількість бур'янів на полі.

- Покращення доступу вологи та поживних речовин до культур. Конкуренція між культурними й бур'янами мінімізується, що стимулює ріст культур.

- Рівномірність розвитку посівів. Культурні рослини ростуть більш однорідно, оскільки не відчувають різниці у щільності ґрунту та бур'янів в зоні міжряддя.

У підсумку, зменшення захисної зони підвищує ефективність культивування, поліпшує загальний стан поля й забезпечує кращу врожайність без додаткових затрат.

Також окрім зменшення захисної зони точність розробленої системи значно зменшує відсоток пошкоджених рослин з 2,5 до 0,5, що в підсумку дає приріст до врожайності.

Також удосконалений культиватор гарно показує себе при роботі на схилах, коли відбувається зсув МТА чи нерівність посівів система компенсує їх, що зберігає більшу кількість неушкоджених рослин.

Може скластись враження що налаштування та експлуатація системи точного ведення по траєкторії рядків є важкою та запутаною. Проте це не так, дана система легко само налаштовується, в ній завантажено більшість культур на різних етапах розвитку. Складнощі можуть виникнути на сильно засмічених ділянках де маса, висота та кількість бур'яну переважає над культурною рослиною. Система не зможе чітко виявити рядок рослини, проте ця ситуація складається край рідко. Керування системою здійснюється через інтерфейс у кабіні трактора — оператор бачить усі параметри, може легко вносити зміни або зупиняти систему при потребі чи переводити в ручний режим налаштування.

4.2. Програма та методика досліджень

Об'єктом дослідження є міжрядний культиватор удосконалений розробленою рамкою з системою копіювання траєкторії рядка. Програма досліджень передбачає комплексний порівняльний аналіз ефективності та економічної доцільності міжрядного обробітку ґрунту за допомогою чотирьох різних конфігурації агрегатів, що представляють різні рівні автоматизації:

1. Традиційне компонування МТА (Агрегат А) – культиватор агрегується з трактором без системи автопілоту, керування здійснюється оператором вручну, покладаючись на його досвід та візуальний контроль. Цей варіант слугує контрольною групою, що відображає стандартну практику обробітку.

2. МТА з навігаційною системою (Агрегат Б) – культиватор агрегується з трактором, оснащеним системою GPS-навігації (з RTK-точністю, похибка в межах 3-4 см), що забезпечує високоточне паралельне ведення трактора по заданих лініях, положення відносно рядка залежить від точності сигналу та прямолінійності посівів.

3. МТА обладнане системою автоматичного копіювання траєкторії посівів (агрегат В) – культиватор агрегується з трактором без системи автопілоту через розроблену триточкову навіску з автоматичною системою копіювання траєкторії рядків. Точність ведення залежить від точності ведення трактора та роботи системи.

4. МТА з обладнане системою автоматичного копіювання траєкторії посівів, що агрегується з трактором обладнаним навігаційними системами (Агрегат Г) – цей варіант поєднує переваги Високоточної GPS-навігації з незалежною системою автоматичного ведення по траєкторії рядків, встановленої на рамці. Це дозволяє досягнути максимальної точності та стабільності роботи. Система навігації трактора забезпечує загальне позиціонування, а система копіювання траєкторії посівів – корекцію відносно рядків.

Методика досліджень включає польові випробування, під час яких будуть вимірюватися та аналізуватися наступні ключові показники:

- Відсоток пошкодження культурних рослин. Оцінювався шляхом візуального підрахунку пошкоджених або зрізаних рослин на 10 випадково обраних контрольних ділянках розміром 10 м на 10 м на кожній дослідній ділянці. Та враховувались явні пошкодження культури на всій площі У пошкоджені рослин включали ті, що мали видимі механічні пошкодження стебла, листя або кореневої системи, а також повністю зрізані рослини. Результат усереднювали для кожної ділянки.

- Середня робоча швидкість МТА. Фіксувалася за допомогою GPS-трекерів, встановлених у кожному тракторі. Дані отримувалися кожні 30 секунд, безперервно протягом усього часу експерименту. Середня швидкість розраховувалась за вирахуванням часу організаційні та технічні зупинки.

- Продуктивність розраховувалась за класичною формулою як проща обробленої ділянки за одиницю часу (га/год) за формулою

$$W = 0,1 \cdot B \cdot V \cdot K$$

де W - годинна продуктивність (га/год),

B - робоча ширина захвату агрегату (м),

V - робоча швидкість агрегату (км/год),

K - коефіцієнт використання часу (враховує час простоїв, поворотів, налаштування МТА та інших неробочих операцій).

- Якість обробітку ґрунту. Оцінювалася комплексно за кількома параметрами:

*ступінь підрізання бур'янів, візуально контролювалось на контрольних ділянках.

*відсутність необроблених ділянок (пропусків), візуально контролювалось на контрольних ділянках.

Загальна оцінка виставляється за 5-бальною шкалою, де 5-відмінна якість, 1-незадовільна.

- Втома оператора. Оцінювалася за допомогою стандартизованого анкетування операторів після кожної робочої зміни. Анкета включає рівень питань про рівень фізичної та психологічної втоми, концентрації уваги, напруженості роботи. Оцінка ставилася за 5-бальною шкалою, де 1-мінімальна втома, 5-максимальна втома. Додатково проводилось спостереження за поведінкою оператора під час роботи.

- Можливість роботи в нічний час. Оцінювалася шляхом проведення випробувань у темний час доби. Фіксувалася здатність агрегату підтримувати заданні параметри роботи (швидкість, точність якості обробітку) без зниження ефективності та підвищення ризику пошкодження рослин.

4.3. Планування експерименту

Для проведення дослідження було ретельно обрано дослідну ділянку площею 12 га на землях господарства. Ділянка була розділена на чотири рівні частини по 3 га кожна, що дозволило забезпечувати ідентичні умови для кожного варіанту обробітку. На всіх ділянках були посіяні однакові гібриди кукурудзи з нормою висіву 70 тис. насінин/га та міжряддям 70 см. ґрунтові умови – чорнозем типовий, рельєф рівнинний з ухилом до 1°, умови на всіх ділянках максимально подібні, щоб мінімізувати вплив сторонніх факторів на результати.

Експеримент проводився на стадії V6-V8 (6-8 листків), коли висота рослини становила 35-45 см. Цей період є оптимальним для першого або другого міжрядного обробітку ґрунту, щоб встигнути до замикання рядків. І є критичним з точки зору

пошкодження рослини. Температура повітря 18-23° С та 13-18° С в ночі, опади відсутні, помірний вітер до 5 м/с.

Скомплектовані машино-тракторні агрегати (МТА):

- Агрегат А (контрольний): Колісний трактор CASE IH PUMA 210 без GPS-навігації (номінальна потужність 155 кс.) з навісним культиватором "Агромаш-Калина" КУМ 9.8 (робоча ширина захвату 8,4м.) обладнаний стрільчатою лапою та правою і лівою бритвою. МТА керується досвідченим механізатором з 5-річним досвідом. Оператор намагався максимально точно слідувати за рядками, але без використання допоміжних систем.

- Агрегат Б (з навігаційною системою): Колісний трактор CASE IH PUMA 210 з системою GPS-навігації Trimble RTK (точність 3-4 см) та тим самим культиватором "Агромаш-Калина" КУМ 9.8 та механізатором. Навігація забезпечує паралельне водіння трактора.

- Агрегат В (з розробленою системою копіювання траєкторії рядків): Трактор CASE IH PUMA 210 без GPS-навігації з навісним культиватором "Агромаш-Калина" КУМ 9.8, оснащений розробленою автоматичною системою копіювання траєкторії рядків.

- Агрегат Г (з розробленою системою копіювання траєкторії рядків та навігаційною системою): Трактор CASE IH PUMA 210 з системою GPS-навігації Trimble RTK (точність 3-4 см) навісним культиватором "Агромаш-Калина" КУМ 9.8, оснащений розробленою автоматичною системою копіювання траєкторії рядків. Цей МТА є комбінацією технологій, що має забезпечити максимальний рівень точності та продуктивності.

Кожну ділянку було оглянуто командою агрономів, підрахунок проводився вручну, фіксуючи кількість зрізаних або пошкоджених рослин. Вимірювання робочої швидкості проводилося за допомогою GPS-трекера встановленого в тракторі, з фіксацією кожні 30 секунд. Рівень втоми оператора оцінювався за 5-бальною шкалою після кожного експерименту.

4.4. Результати експерименту

Після проведення експерименту та збору даних, було отримано наступну таблицю:

Таблиця 4.1

Отримані результати

Показник	Агрегат А	Агрегат Б	Агрегат В	Агрегат Г
Середня робоча швидкість, км/год	6,4	8,1	9,7	10,2
Продуктивність роботи, га/год	5,4	6,8	8,15	8,6
Відсоток пошкоджених рослин %	2,5	1,7	0,5	0,5
Якість обробітку	3	3,5	4,5	4,5
Втома оператора	4,5	3,1	1,8	1
Можливість працювати в нічний час	Не можливо	Частково можливо	Можлива	Можлива

Якість обробітку ґрунту (оцінка 1-5, 5 - найкраще).

Втома оператора (оцінка 1-5, 5 - найбільша).

Аналіз результатів:

Швидкість – МТА Г продемонстрував найвищу середню швидкість 10,2 км/год. Це стало можливо завдяки поєднанню точного паралельного ведення трактора та системи копіювання траєкторії рядків. МТА В теж показав чудовий результат у 9,7 км/год, але Г перевищив його завдяки стабільності руху, яку надає навігаційні системи.

Пошкодження рослин – найменшу кількість рослин пошкодили МТА Г та В лиш 0,5%. Це свідчить про майже ідеальну точність ведення культиватора вздовж рядків.

Продуктивність – завдяки найвищій середній швидкості МТА Г досягнув найбільшою годинної продуктивності 8,6 га/год. Це робить його найбільш ефективним рішенням з точки зору виконання робіт за одиницю часу, що є критично в умовах обмежених агротехнічними термінами.

Якість обробітку ґрунту – МТА Г та В отримали найвищу оцінку якості в 4,5 бали. Це пояснюється стабільністю обробітку та точністю ведення.

Втома оператора – Найменший рівень втоми у МТА Г. Оператор зосередився виключно на моніторингу роботи, а не на активному керуванні, що значно підвищує комфорт та можливий безперервний час роботи оператора.

Нічна робота – МТА Г та В забезпечують повноцінну та високоякісну роботу в нічний час доби. Що вразі піднімє добову продуктивність відносно класичних компонувань МТА.

4.5. Висновок проведених досліджень

Проведені дослідження доводять значні та багатоаспектні переваги міжрядного культиватора обладнаного автоматичною системою копіювання траєкторії рядків, що агрегується з трактором з системами навігації, порівняно з іншими методами та системами. Окрім значних якісних показників, величезною перевагою є можливість працювати в нічний час доби. Це кратно підвищує добову продуктивність, дозволяє вчасно провести тех. Операції з меншою кількістю задіяних МТА, персоналу та інших витратних частинах. Та провести обробіток в оптимальні та сприятливі етапи вегетації рослини. Варто зауважити що підчас повітряних тривог в більшості випадків навігаційні системи попадають під роботу РЕБ, та втрачають точність або взагалі перестають робити, що дещо погіршує результати, але система чудово працює без навігації як видно з результатів експеримента. Також важливим фактором що призводить до більших врожаїв є

зменшення захисної зони, рівномірність обробітку, зменшення пошкодження культурних рослин.

Результати експерименту підтверджують, що впровадження таких комплексних автоматизованих систем є ключовим кроком до інтенсивного розвитку агровиробництва, підвищення його ефективності, зниження витрат та покращення умов праці. Це дозволяє сільськогосподарським підприємствам досягати вищих врожаїв при оптимальному використанні ресурсів та мінімальному впливі людського фактора. Всі ці фактори вказують, що в найблищому майбутньому дане удосконалення для культиваторів здобуде значного поширення серед агрохолдингів та великих фермерів.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1. Розрахунок показників економічної ефективності удосконалення

Економічний розрахунок виконано з метою визначення наближеної економічної вигоди від впровадження розробленого удосконалення порівняно з базовою моделлю. В аналізі враховано ключові додаткові переваги: зменшення відсотку пошкоджених рослин, підвищення продуктивності, та можливість працювати в нічний час.

Для спрощення порівняльного аналізу, витрати, які залишаються майже незмінними для обох варіантів культиваторів, зокрема, поточний та капітальний ремонт, витрати на ППМ, амортизаційні відрахування на агрегат і тому подібні не включаються до розрахунку прямого економічного ефекту на гектар. Основний акцент зроблено на показниках які найбільше зазнають змін: продуктивність, оплата праці, втрата потенційного врожаю.

Дані щодо продуктивність роботи культиватора з вдосконаленням взяті з тягового розрахунку.

Продуктивність за годину звичайного культиватора:

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot B_p \cdot v_p \cdot \tau, \quad (5.1)$$

$$W_{\text{год}} = 0,1 \cdot 8,4 \cdot 6,4 \cdot 0,8 = 4,3 \text{ га /год}$$

Зміна продуктивність визначається за формулою :

$$W_{\text{зм}} = W_{\text{год}} \cdot T_{\text{зм}}, \quad (5.2)$$

$$W_{\text{зм}} = 4,3 \cdot 15 = 64,5 \text{ га /год}$$

Припустимо що МТА буде працювати протягом усього світлового дня.

Вихідні дані для розрахунку та порівняння економічної ефективності удосконаленої машини та базової представлені в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Назва показника	Одиниці виміру	Модернізована модель	Базова модель
Година продуктивність	га/год	6,52	4,3
Зміна продуктивність	га/зм	156,48	64,5
Пошкодження рослин	%	0,5	2,5

5.2. Порівняльний розрахунок

Затрати на оплату праці робітнику у гривнях на га визначають за формулою:

$$Z_{\text{зп}} = \frac{r_i \cdot n_i}{W_{\text{год}}}, \quad (5.3)$$

де r_i - погодинна тарифна оплати праці на i -му виді робіт, грн./люд.год.;

n_i - коефіцієнт нарахувань на заробітну плату;

Для базового агрегату:

$$Z_{\text{зпб}} = \frac{200 \cdot 1,3}{4,3} = 60,46 \text{ грн/га}$$

Для модернізованого агрегату:

$$Z_{зпм} = \frac{200 \cdot 1,3}{6,52} = 39,88 \text{ грн/га}$$

Економічний ефект від зниження втрат визначається за залежністю

$$E = (P_{БМ} - P_{ММ}) \cdot 0,01 \cdot B \cdot C_k, \quad (5.4)$$

де $P_{БМ}$, $P_{ММ}$ – втрати рослин при обробітку базової та модернізованої моделі відповідно, % ;

B – середня врожайність кукурудзи, т/га;

C_k – середня ціна на кукурудзу грн;

$$E = (2,5 - 0,5) \cdot 0,01 \cdot 6,43 \cdot 7500 = 964,5 \text{ грн/га}$$

Отримані дані занесемо до таблиці показників економічної ефективності в табл. 5.2.

Таблиця 5.2

Показники економічної ефективності

Назва показника	Одиниці виміру	Модернізована модель	Базова модель
Заробітна плата	грн/га	39,88	60,46
Економічний ефект від зменшення пошкодження	грн/га	964,5	0

Розрахунок економічної вигоди по кожному показнику:

Економічний ефект по заробітній платі:

$$Z_{зп} = Z_{зпб} - Z_{зпм} , \quad (5.5)$$

$$Z_{зп} = 60,46 - 39,88 = 20,58 \text{ грн/га}$$

Порахуємо загальну економічну вигоду модернізації культиватора на гектар:

$$E_3 = E + Z_{зп} , \quad (5.7)$$

$$E_3 = 964,5 + 20,58 = 985,08 \text{ грн/га}$$

Приблизна вартість всього удосконалення становить 700000 грн(170000 доларів США). Дані по кожній складовій удосконалення представлені в табл. 5.3.

Таблиця 5.3

Ціни на компоненти модернізації культиватора в гривнях

Компонент удосконалення	Ціна, грн
Електронна складова (камера, монітор, програмне забезпечення і так далі)	360000
Трьохточкова система навіски	240000
Гідравлічна складова (гідроциліндр, розподільник і так далі)	100000
Разом	700000

Розрахуємо окупність в гектарах переобладнання культиватора:

$$S = \frac{C_{п}}{E_3} , \quad (5.11)$$

$$S = \frac{700000}{985,08} = 710,6 \text{ га}$$

Де $C_{\text{п}}$ – ціна переобладнання культиватора

В заключній таблиці наведено основні переваги удосконаленого культиватора над звичайним наведено в табл. 5.4.

Таблиця 5.4

Економічний ефект від удосконалення

Назва показника	Одиниці виміру	Модернізована модель	Базова модель
Година продуктивність	га/год	6,52	4,3
Зміна продуктивність	га/зм	156,48	64,5
Пошкодження рослин	%	0,5	2,5
Заробітна плата	грн/га	39,88	60,46
Економічний ефект від зменшення пошкодження	грн/га	964,5	0

Як видно з розрахунків економічний ефект від вдосконалення становить 985,08 гривень. Що дозволяє окупити удосконалення за 710,6 га. Під час розрахунку не було економічно виражено основну перевагу це можливість працювати в нічний час доби. Цей фактор дозволяє скоротити кількість одночасно залученої техніки до культивації, кратно підвищить строки обробки посівів, що забезпечить проведення в оптимальні фази росту рослин для підвищення потенційного врожаю. Можливість використовувати наявний культиватор в господарстві. Це все робить термін окупності вдосконалення ще скорішим.

ВИСНОВОК

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи було досягнуто поставленої мети – розроблено універсальне технічне вдосконалення у вигляді перехідної триточкової рамки для культиваторів міжрядного обробітку посівів кукурудзи, яка забезпечує автоматичну корекцію руху агрегату відносно рядків рослин. Попередні дослідження підтвердили ефективність запропонованого рішення як з технічної сторони так і з економічної точки зору.

1. Кукурудза є однією з головних зернових культур сільського господарства, що має велике агроекономічне значення в Україні. Вона є важливим джерелом поживних речовин для людей та тварин, а також ціною сировиною для промисловості. Саме тому підвищення ефективності технологій вирощування кукурудзи є актуальним завданням сучасного аграрного виробництва.

2. В останні роки спостерігається стійка тенденція до зростання інтересу до механічного міжрядного обробітку посівів просапних культур. Це зумовлено декількома чинниками: заборона та обмеження використання гербіцидів, розвиток резистентності бур'янів, екологічні тренди. В цих умовах механічні методи набувають нового значення, оскільки поєднують високу ефективність і екологічність.

3. Проведено аналіз конструкції та видів робочих органів культиваторів для міжрядного обробітку, що дозволило визначити їх основні переваги та недоліки,

4. На основі порівняння виробників електронної складової системи автоматичного копіювання траєкторії рядків та виробників культиваторів було обрано електронну складову від компанії Inter-row від Tillet and Hague Technology, та культиватор "Агромаш-Калина" КУМ 12-ти рядковий.

5. Виконано детальний розрахунок гідравлічної складової, накреслено гідравлічну схему та гідроциліндр які відповідають чиним нормам. Проведено перевірочний розрахунок всієї гідросистеми.

6. Спроектовано та розроблено комплект креслень перехідної триточкової рамки, проведено перевірку на міцність у слабких місцях.

7. Проведено тяговий розрахунок розробленого удосконалення з культиватора "Агромаш-Калина" КУМ 12-ти рядковий з трактором CASE PUMA 210.

8. Проведено дослідження культиватора з системою автоматичної корекції ведення по траєкторії рядків. Виявлено ряд позитивних змін до яких відносяться: можливість працювати в нічний час, значне збільшення годинної та добової продуктивності, зменшення захисної зони, збільшена робоча швидкість, менша втома оператора, зменшення людського фактору на обробіток.

9. Дані з дослідження демонструють високу перевагу над традиційними способами обробітку. Година продуктивність збільшилась з 5,4 до 8,15-8,6 га/год, швидкість до 10,2 км/год, знизився відсоток пошкоджених рослин з 2,5% до 0,5%, зменшилась втома оператора та з'явилась можливість працювати у нічний час доби.

10. Економічний розрахунок показав, що використання даного удосконалення економить 964,5 грн з га. Окупність склала 710,6 га.

В цілому виконана магістерська кваліфікаційна робота демонструє практичну можливість підвищення продуктивності та якості механічного міжрядного обробітку посівів кукурудзи та інших просапних культур. Розроблене технічне рішення відповідає сучасним вимогам по екологічності, ефективності та економічній доцільності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ветохін В. Огляд розвитку засобів для орієнтації просапних знярядь вздовж рядків, зокрема у вирощуванні цукрових буряків. Техніко – технологічні аспекти розвитку та випробування нової техніки і технологій для сільського господарства України. №26 (40) с 30-46

2. Взаємне розміщення полільних і універсальних лап. StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5063510/page:15/> (дата звернення: 22.02.2024).

3. Врожайна хірургія. iFarming. URL: <https://ifarming.ua/resursi/vrozhajna-hirurgiya> (дата звернення: 19.02.2024).

4. Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д. Іщенко, Г.Р. Гаврилюк, О.М. Погорілець, Г.І. Живолуп, В.М. Мартишко, М.С. Волянський, В.М. Барановський, Ю.О. Борхаленко Сільськогосподарські та меліоративні машини : підручник.. Київ : Вища освіта, 2004. 544 с.

5. Думич В., Ролько Т. Аналіз конструкцій машини для міжрядного обробітку просапних та овочевих культур. Техніка та технології АПК. 2015 №11 (74) с 8-12

6. Ефективність міжрядного обробітку: найпоширеніші міфи про застосування міжрядних культиваторів та їх спростування на досвіді українських аграріїв.

"АгроЕліта" | Всеукраїнський аграрний журнал. URL:

<https://agroelita.info/efektyvnist-mizhriadnoho-obrobitku-nayposhyrenishi-mify-pro-zastosuvannia-mizhriadnykh-kultyvatoriv-ta-ikh-sprostuvannia-na-dosvidi-ukrainskykh-ahrariiv/> (дата звернення: 15.02.2024).

7. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці: підручник Львів: Афіша, 1999. 347 с.

8. Забродоцька Л.Ю. ОСНОВИ АГРОНОМІЇ : навч. посіб. ЛУЦЬК : інформаціне вид. від. Луц. нац. техн. ун-ту, 2019. 360 с.

9. Інструкція з експлуатації HORSCH Culti Cam 04/2020

10. Лехман С.Д. Охорона праці підручник: Урожай, 1994. – 271с.

11. Мануал PÖTTINGER FLEXCARE V 2023
12. Мануал Tillet and Hague Technology Guidance and Control System January 2022
13. Міжрядний обробіток на кукурудзі. SEEDING THE FUTURE - KWS SAAT SE & Co. KGaA. URL: <https://www.kws.com/ua/uk/produkty/kukurudza/novyny/mizhryadnyj-obrobitok-na-kukurudzi/> (дата звернення: 22.02.2024)
14. Міжрядний обробіток: за і проти. Агрономія сьогодні - практичні поради аграріям. URL: <https://agronomy.com.ua/statti/1536-mizhriadni-obrobitok-za-i-proty.html> (дата звернення: 15.01.2024).
15. Міжрядні культиватори: прощавайте, бур'яни і гербіциди. Traktorist.ua. URL: <https://traktorist.ua/articles/460-mijryadni-kultivatori-proschavayte-buryani-i-gerbitsidi> (дата звернення: 13.03.2024).
16. Погорілець О.М., Волянський М.С., Войтюк В.Д., Пастушенко С.І. Гідропривід сільськогосподарської техніки : підручник. Київ : Вища освіта, 2004. 368 с.
17. Посібник з експлуатації PÖTTINGER Система камер 9912.60.100.0
18. Сава А., Хрунь М. Культиватори майбутнього. АГРОЕЛІТА. 2020 №5 (88)/2020. с 36-39
19. Сенчук М.М., Трегуб М.І., Демещук В.А. СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ МАШИНИ : навч. посіб. Біла церква, 2010. 343 с
20. Тимошенко Т. Кукурудза: як вирощувати успішно? Агробізнес сьогодні. №18 (241), вересень, 2012. – с. 37-39.
21. EC-Weeder | LEMKEN. LEMKEN – Innovative farming technology for high-yield agriculture. URL: <https://lemken.com/en-en/agricultural-machines/cropcare/weed-control/mechanical-weed-control/ec-weeder> (дата звернення: 10.01.2024)
22. ISO 12240-4:1998 - Spherical plain bearings
23. ISO 6020-2:2015 Hydraulic fluid power

24. Manuals and Videos – Tillett and Hague Technology Ltd. Tillett and Hague Technology Ltd. URL: <https://thtechnology.co.uk/manuals-and-videos/> (дата звернення: 02.02.2024).