

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційного проекту на 51 с машинописного тексту, 17 рис., 1 табл., 20 літературних джерел, __ додаток(ки).

ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, МОСТОВЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, КУЛЬТИВАТОР З АКТИВНИМИ РОБОЧИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ, ГІДРОПРИВІД, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ВРОЖАЙНІСТЬ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР, ОРГАНІЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

Об'єктом дослідження є технологічні процеси основного обробітку ґрунту в умовах точного землеробства.

Предметом дослідження є вдосконалення конструкції культиватора з активними робочими елементами для роботи з мостовими машинами.

В результаті дослідження розроблено нову конструкцію культиватора, оснащеного активними робочими елементами. Було також створено систему гідроприводу для роторної плити культиватора, з розрахунком оптимальної потужності і тягового опору. Ця конструкція забезпечує ефективне виконання технологічних операцій у поєднанні з мостовою машиною.

Наведено: Схема поля облаштованого під мостове землеробство, Культиватор «Робокроп», Агромашина з активними РО для мостового землеробства, Ротаційна сапа, Розрахункова схема, Схема гідроприводу активного робочого органу культиватора.

Впровадження нової конструкції культиватора може значно підвищити ефективність обробітку ґрунту, зменшити залежність від хімічних гербіцидів та сприяти переходу до органічного землеробства, підвищуючи врожайність і знижуючи виробничі витрати.

Розроблені заходи з охорони праці.

Проведено аналіз економічної доцільності.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ	6
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	12
2.1 Особливості процесу обробки ґрунту в умовах мостового землеробства	12
2.2 Аналіз агромашин для культивуації із активними робочими органами	14
2.3 Висновок	21
РОЗДІЛ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	22
3.1 Конструктивна схема й опис основного РО агромашини для мостового землеробства	22
3.2 Дослідження основного робочого органу	24
3.3 Дослідження міцності кріплення основного робочого органу	26
3.4 Розробка й дослідження гідравлічного приводу основного робочого органу	27
3.5 Висновки	38
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	39
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	42
ВИСНОВКИ	46
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	48
ДОДАТКИ	51

ВСТУП

Тема впровадження систем точного землеробства у сільському господарстві набуває все більшої актуальності в умовах сучасної аграрної практики України. Переорієнтація аграрного сектору на впровадження інноваційних технологій зумовлена низкою факторів, серед яких виділяються зростаючий попит на ефективне використання ресурсів, підвищення продуктивності агровиробництва та забезпечення сталого розвитку галузі. Точне землеробство, як технологічний підхід, ґрунтується на використанні інформаційних технологій, супутникової навігації та датчиків для оптимізації процесів обробітку ґрунту, внесення добрив та використання засобів захисту рослин. Ці системи дозволяють зменшити витрати на матеріальні ресурси та мінімізувати екологічні наслідки аграрної діяльності.

Актуальність цієї теми в Україні посилюється з огляду на необхідність підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва у контексті глобальних змін клімату, економічних викликів та інтеграції у міжнародний ринок. Зростаючий тиск на фермерів щодо збереження родючості ґрунтів, раціонального використання водних ресурсів та скорочення викидів парникових газів вимагає застосування новітніх технологій, таких як системи точного землеробства. Ці системи дозволяють значно підвищити ефективність основного обробітку ґрунту, що є важливим етапом агротехнологічного циклу, оскільки впливає на стан ґрунту, його структуру та здатність зберігати вологу.

Впровадження систем точного землеробства в Україні сприятиме не лише підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних сільгоспвиробників, але й забезпеченню продовольчої безпеки в умовах зростаючих викликів. Завдяки цим системам аграрії можуть приймати більш обґрунтовані рішення щодо управління польовими операціями, зменшуючи ризики та підвищуючи врожайність.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЗАГАЛЬНОГО СТАНУ ПИТАННЯ

Впровадження двигунів внутрішнього згорання значно прискорило механізацію сільськогосподарського виробництва. Цей прогрес підштовхнув еволюцію виробництва тракторів, що згодом призвело до заміни гужової тяги в системі обробки ґрунту. Незважаючи на згубний вплив потужних тракторних двигунів (рис. 1.1) [1] на родючий шар ґрунту, продовжується поява нового підходу до вирощування сільськогосподарських культур шляхом пересування машин по полю. У цьому контексті акцент зроблено на підвищенні продуктивності праці.

Протягом останнього століття поняття сільського господарства зазнало мінімальних суттєвих змін і зараз досягло стадії насичення у своєму розвитку, вичерпавши перспективи подальшого вдосконалення. Впровадження передових технологій у рослинництві все більше пов'язане з різноманітними екологічними, енергетичними та соціальними проблемами. Ескалація механічних і агрохімічних впливів призводить до повсюдного погіршення стану ґрунту. Отже, наприкінці 20 століття нова методологія вирощування сільськогосподарської продукції, заснована на принципах органічного землеробства, почала набирати обертів.

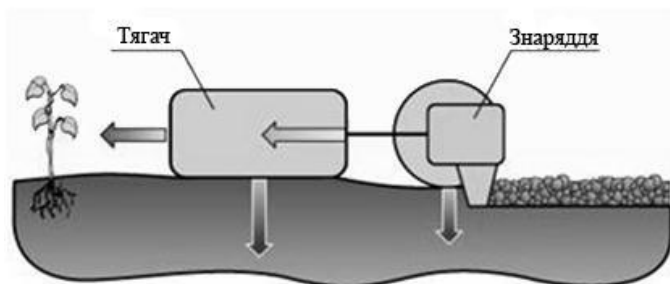


Рисунок 1.1 – Негативний вплив рушіїв на родючий шар ґрунту

Персоналізоване вирощування являє собою інноваційний підхід у сфері вирощування рослин, розглядаючи кожну окрему рослину на полі як окрему біологічну сутність. Протягом усього вегетаційного періоду проводиться періодичний моніторинг рослин, що супроводжується створенням карт із

детальним описом їх стану. На основі цих спостережень проводяться спеціальні заходи по догляду за рослинами. Такий індивідуальний підхід до кожної рослини сприяє зменшенню використання хімікатів і водночас підвищує середню врожайність культури.

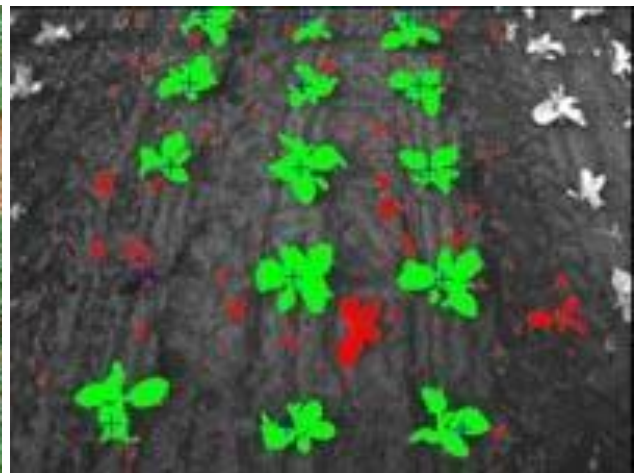
Вчені з Данії, Англії, Німеччини, Австралії, США та багатьох інших країн знаходяться в авангарді автоматизованого точного землеробства, вносячи значний внесок завдяки своїм дослідженням у створення машин, які працюють автономно для обслуговування рослин. Давайте розглянемо кількох із цих піонерів.

В Англії експериментам сприяла розробка спеціалізованого автоматичного шасі (див. рис. 1.2, а) [2]. Встановлена камера, оснащена фільтром «Калман», гарантує збір даних щодо вегетації окремих рослин, а також наявності бур'янів (див. рис. 1.2, б). На основі результатів спектрального аналізу створюється карта, на якій зображено розподіл бур'янів і стан рослин на полі.

Основна мета цієї розробки полягає в тому, щоб полегшити точну координацію робочих компонентів по відношенню до рослин, що дозволить збільшити площу міжрядного обробітку і, як наслідок, мінімізувати залежність від гербіцидів.



а



б

Рисунок – 1.2 - Автономне шасі для проведення моніторингу та виконання операцій догляду за рослинами

Використання телевізійної камери в поєднанні з комп'ютерною системою дозволяє відстежувати розташування рослин у рядах і координувати роботу техніки для догляду за рослинами. Дослідники з Інституту сільськогосподарських наук Данії успішно розробили роботизовану машину, призначену для індивідуального вирощування овочів і рису. Метою цієї ініціативи є вдосконалення практик виробництва та впровадження автоматизованого вирощування овочів.

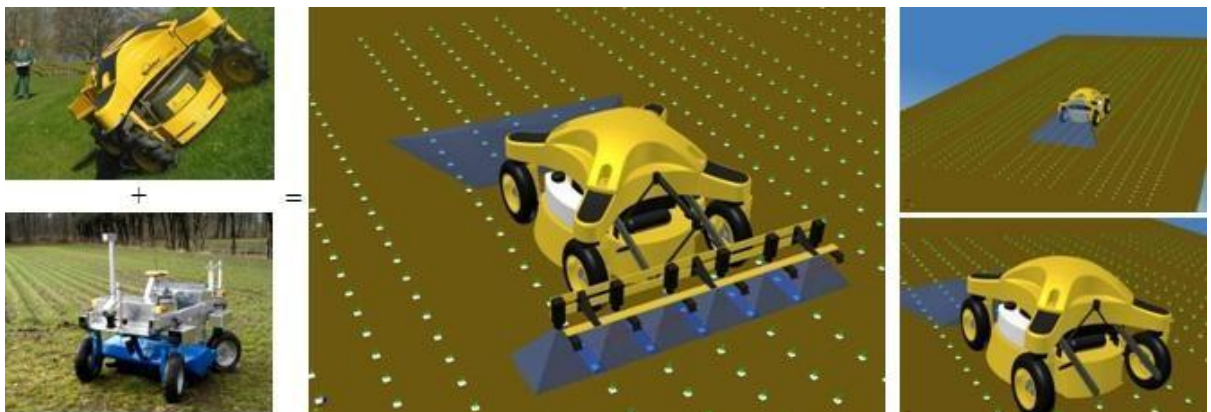


Рисунок 1.3 – Роботизований модуль «Hortibot»

Рухова система робота в основному походить від двигуна внутрішнього згоряння; однак альтернативний варіант включає електропривід, що живиться від акумуляторів. Крім того, в модуль вбудовані сонячні панелі. Управління роботом здійснюється в двох різних режимах: ручному та автоматичному. В автоматичному режимі навігація полегшується за допомогою технології GPS і різних датчиків.

Модуль дозволяє виконувати завдання, пов'язані з посівом, доглядом і збиранням овочевих культур. На підставі результатів досліджень, проведених на полі салату, «Hortibot» отримав сертифікат придатності.

Досягнення науки, описані раніше, призвели до значного прориву в застосуванні персоналізованого методу культивування рослин. Поява передових

технологій особливо актуальна у сфері овочівництва, яке поступається лише садівництву за використанням пестицидів.

Поряд із вирішенням проблем, пов'язаних із накопиченням агрохімікатів у ґрунті, важливо враховувати механічні фактори, що виникають під час роботи енергетичних транспортних засобів, що пересуваються по полю. Обмеживши рух електроінструментів у межах виробничої зони поля, можна пом'якшити механічний вплив.

Проблеми, які постають перед водіями, які експлуатують мостові тягачі на стаціонарних коліях, вирішуються іноземними спеціалістами. У 1975 році перший мостовий тягач був сконструйований Девідом Доулером, як показано на малюнку 1.4, із шириною прольоту 12 метрів і оснащеним чотирма керованими колесами, які можуть повертатися на 90 градусів, що покращує маневреність [3].

Дослідження, проведені з мостовим трактором Dowler в Австралії та Великій Британії, виявили 35% зниження витрат на споживання палива, пов'язаних із посівом, разом із економією енергії на 45% під час операцій з обробітку ґрунту. З 1996 року в Ізраїлі використовується мостовий тягач із шириною колії 5,8 м і висотою колії 1,8 м, оснащений чотирма ведучими колесами.



Рисунок 1.4 – Мостовий агрегат Доулера

У Швеції «TES» і «Biovelor AB» займаються просуванням мостових тракторів, які мають чотири передні рульові колеса. Ці трактори розроблені

спеціально для точного землеробства, дозволяють пересуватися по визначених технологічних коліях і оснащені системою глобального позиціонування GPS.



Рисунок 1.5 – Мостовий трактор з шириною прольоту 5.8 метра



Рисунок 1.6 – Мостовий трактор фірми ТЕС

Представлене тут поняття землеробства дозволяє усунути вплив транспортних засобів на родючий шар ґрунту шляхом створення постійних технологічних шляхів, які використовуються для переміщення робочих модулів. Ця методика передбачає сегментацію родовища на виробничу та технологічну частини. Застосовуючи електроприводи для мостових модулів, стає можливим автоматизувати робочі процеси, зменшити залежність від рідкого палива та покращити екологічні умови.

Висновки

Вивчивши поточну економічну ситуацію, ми дійшли висновку, що рослинництво в господарстві демонструє відносно стабільний стан. З кожним роком урожайність сільськогосподарських культур зростає, що пояснюється вдосконаленням технологій вирощування та ефективної системи боротьби з бур'янами. Своєчасне виконання операцій по догляду за рослинами стає можливим завдяки надійній технічній підтримці.

Головне завдання економіки — поліпшити умови праці робітників, підвищити продуктивність і знизити собівартість продукції. Мостове землеробство є багатообіцяючим напрямком, який може полегшити автоматизацію основних процесів у рослинництві, одночасно зменшуючи залежність від енергетичних ресурсів на основі нафти. Господарство має намір започаткувати пілотний проект з мостового землеробства, спрямованого на вирощування овочевих культур.

Для підвищення ефективності мостового землеробства ця кваліфікаційна робота сприяла розробці активних робочих компонентів для культиватора, які полегшують інтеграцію з мостовою машиною. Ця інновація дозволяє прополювати 98% посівних площ, що дозволяє припинити використання гербіцидів.

РОЗДІЛ 2

ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Особливості процесу обробки ґрунту в умовах мостового землеробства

Впровадження мостового землеробства сприяє автоматизації основних технологічних процесів у рослинництві. Міцно з'єднуючи агромашину із зоною обробки, він гарантує високу точність узгодження робочих компонентів технологічних машин, усуваючи потребу в складних системах навігації. Крім того, включення електричних приводів в енергетичні системи мостових машин зменшує залежність від нафтового палива, яке в даний час служить основним джерелом енергії для теплових енергоустановок, що використовуються в тракторах, транспортних засобах і різних інших сільськогосподарських машинах.

Точна координація гарантує ефективне виконання локального догляду за рослинами в межах поля. Такий підхід сприяє зменшенню витрат як на засоби захисту рослин, так і на добрива, які будуть адаптовані для кожної конкретної культури, що вирощується на території. Практика мостового землеробства підвищує ефективність точного землеробства, методу, який все більше поширюється на сільськогосподарських підприємствах. У мостовому землеробстві роботи з обробки ґрунту проводяться локально з використанням активних робочих компонентів, як у рядках, так і між ними, таким чином мінімізуючи залежність від ручної праці та застосування гербіцидів.

Основним принципом мостового землеробства є поділ поля на зони, призначені для вирощування культур (агротехнічні) і технологічні (транспортно-технологічні шляхи). Ділянки, відведені для росту рослин, називаються загонами, їх ширина визначається довжиною ферми мостової машини. Транспортно-технологічні шляхи складають транспортну систему координат (КТС). Ці шляхи полегшують рух мостової машини та транспортних засобів, відповідальних за транспортування основних матеріалів, таких як насіння, добрива та рідини для

захисту рослин, а також для збору зерна. Ілюстрація земельної ділянки, призначеної для проведення мостового господарства, представлена на рисунку 2.1.

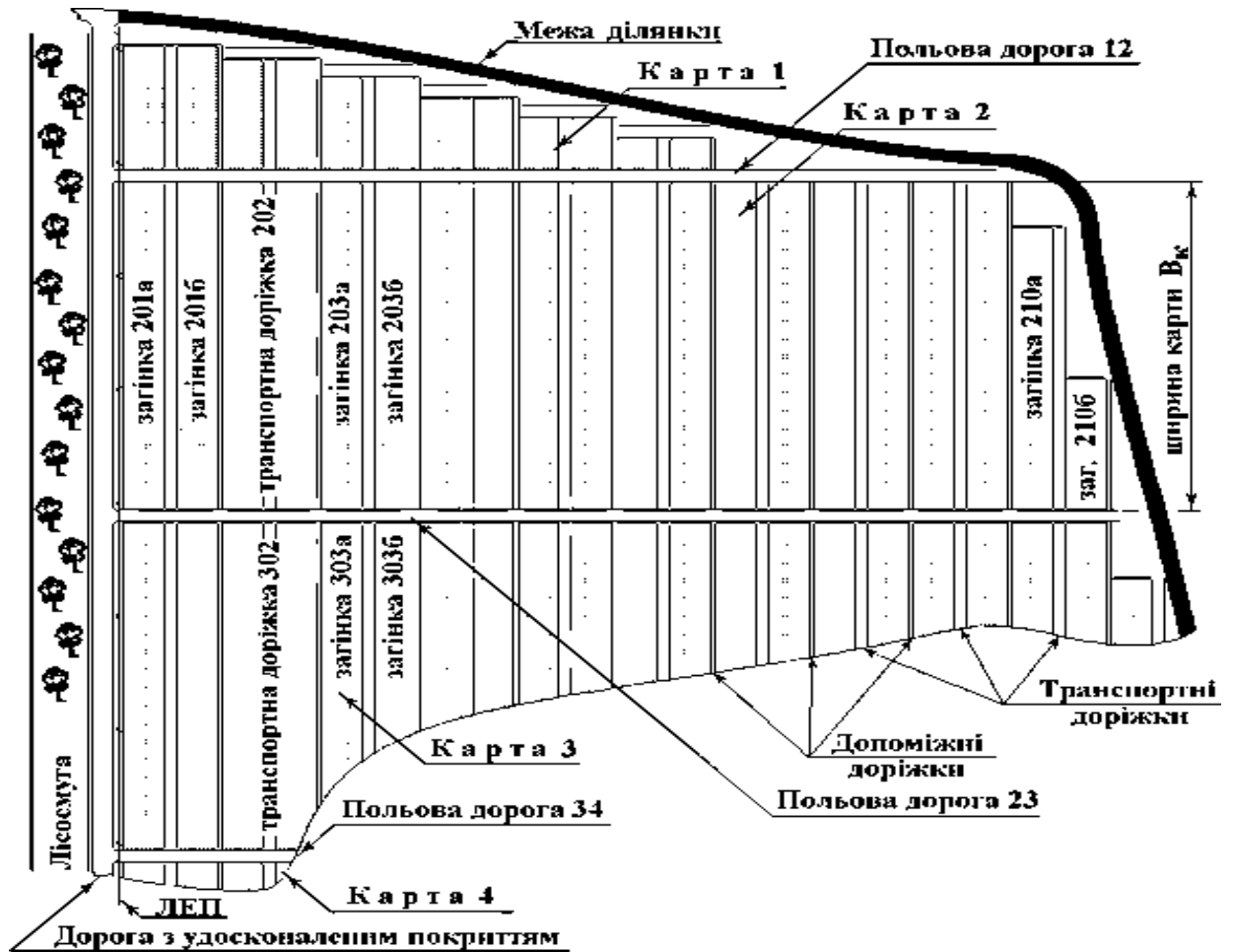


Рисунок 2.1 – Схема поля облаштованого під мостове землеробство [4]

Робоча схема культиватора з активними робочими органами в поєднанні з мостовою машиною зображена на рисунку 2.2. Жорстке з'єднання мостової машини з опорними точками сприяє точному узгодженню робочих органів. Така точна координація дозволяє активним робочим органам ефективно розпушувати ґрунт як міжряддя, так і всередині, таким чином дозволяючи обробити до 98% поверхні поля, одночасно зменшуючи хімічне навантаження на ґрунт.

Розташування рядків у межах поля окреслюється покажчиками на опорних рейках ходової частини. Розташування рослин у рядку, відоме як посів, встановлюється шляхом встановлення міток, зокрема магнітних маркерів, на

опорні балки ферми мостової машини. Цей метод значно полегшує подальші операції, такі як прополка, полив, підгодівля та захист від шкідників, що дозволяє виконувати догляд за рослинами з високою точністю.

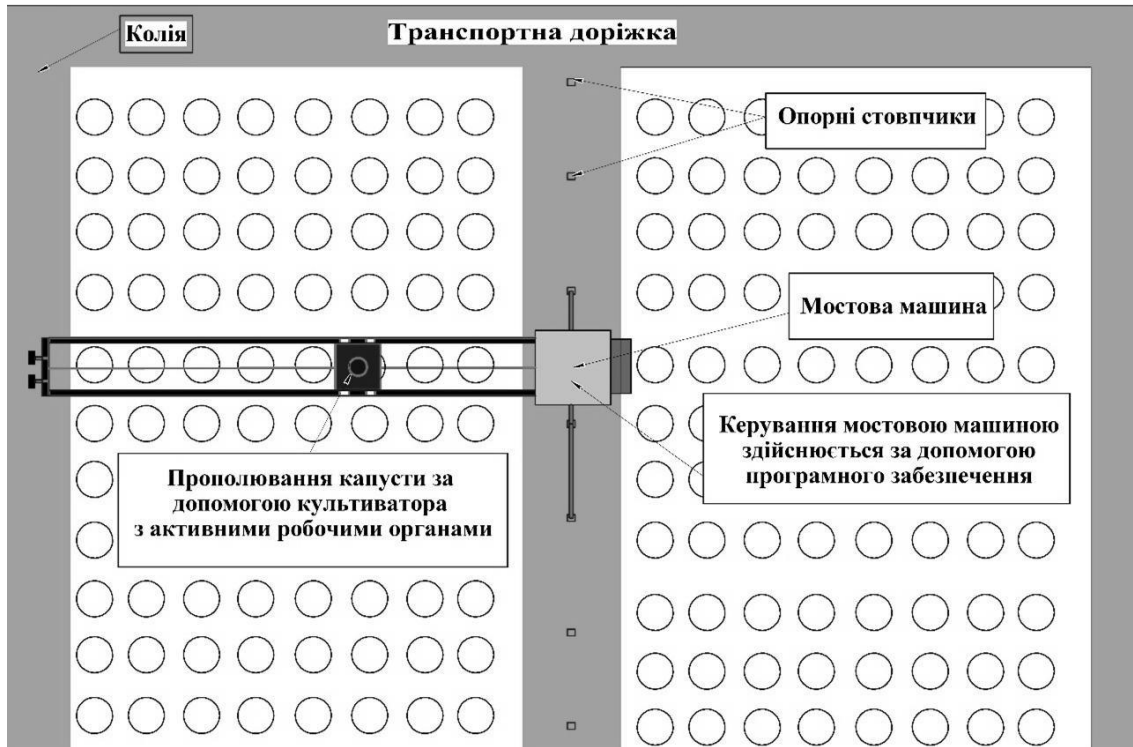


Рисунок 2.2 – Прополування овочевих культур за допомогою культиватора з активними робочими органами в мостовому землеробстві

Процес прополки за допомогою культиватора, оснащеного активними робочими компонентами, виконується з мінімальною захисною смугою розміром від 2 до 2,5 см, стандарту, якого не може виконати тракторна техніка. Для ефективної реалізації викладеного принципу роботи необхідно провести аналіз існуючих машин і здійснити патентний пошук культиваторів з активними робочими органами.

2.2 Аналіз агромашин для культивації із активними робочими органами

Протягом тривалого періоду англійська компанія Garford Farm Machinery займалася вдосконаленням активних робочих органів культиваторів, а також

розробкою систем, які координують ці органи відносно рослин. Кульмінацією цих зусиль стало створення культиватора «Робокроп», який має активні робочі органи. Культиватор здатний прополювати не тільки міжряддя, а й самі ряди. Розроблена компанією система координації робочих органів покращує керуваність трактора, тим самим знижує вимоги водія до концентрації та знижує напругу під час виконання точних технологічних завдань [5].



Рисунок 2.3 – Культиватор «Робокроп»

а – міжрядний обробка рослин; б – рядковий обробка рослин

Інтелектуальний електронний блок разом із камерою, яка спостерігає за розташуванням культурних рослин у рядку, полегшує керування активними робочими органами культиватора. Дані, отримані камерою, передаються на блок управління для аналізу, який згодом встановлює необхідну частоту обертання для активних робочих компонентів. Додатково електронний блок оцінює бокове розташування робочих органів щодо рядків і регулює їх розміщення за допомогою інтегрованого в робочі органи культиватора механізму перемикачів, встановленого на навішуванні трактора.

Ці культиватори використовуються для догляду за такими культурами, як селера, салат, капуста та помідори, з рекомендованою відстанню між рослинами в рядах від 15 до 20 см. Культиватори «Робокроп» досягають ефективності прополки 98% по всій поверхні поля, що дозволяє виключити використання гербіцидів у вирощуванні овочів. Робоча швидкість культиватора - дві рослини в секунду.

Німецькі та датські дослідники займаються розробкою та впровадженням модульного робота під назвою «Unkrautbekämpfung» (рис. 2.4) [6], що використовує можливості датчиків, призначених для ідентифікації культурних рослин. Основною метою цієї інновації є досягнення точної координації робочих компонентів по відношенню до рослин, що сприяє збільшенню площі, доступної для міжрядного обробітку, і, отже, мінімізує використання гербіцидів.

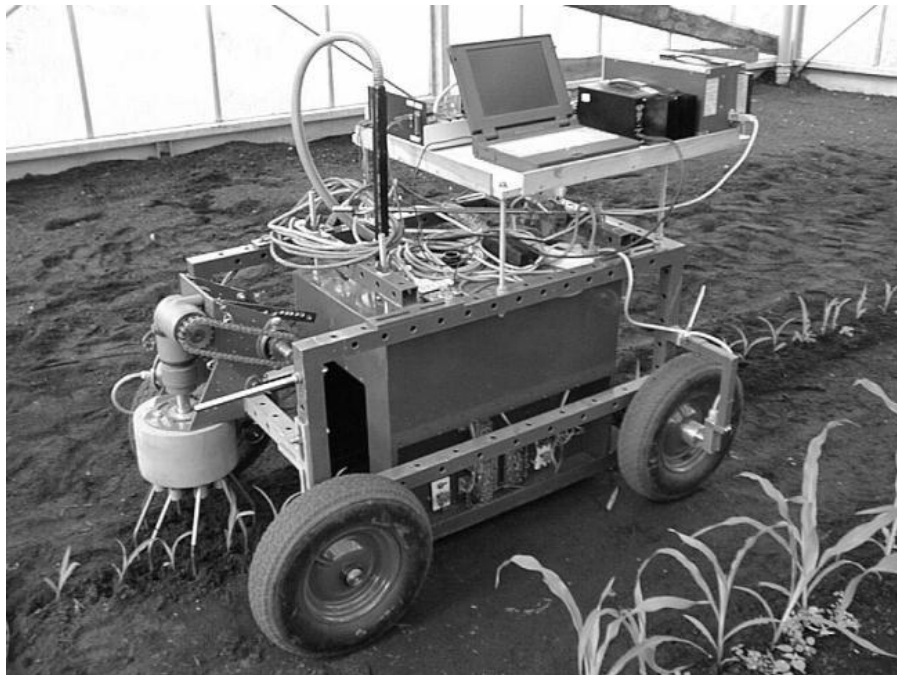


Рисунок 2.4 – Автономний польовий робот видалення бур'янів «Unkrautbekämpfung»

Впровадження автономного модуля базується на попередніх наукових дослідженнях, зокрема роботах «Система сенсорного контролю робочого органу видалення бур'янів» та «ОПТОМАЙЗЕР – система керування модульним

транспортним засобом». Робота «Unkrautbekämpfung» полягає в наступному: орієнтація модуля щодо рядків культур досягається за допомогою комбінації системи GPS і системи OPTOMAIZER. Під час руху модуля система керування робочим органом за допомогою датчиків ідентифікує культурні рослини, забезпечуючи тим самим роботу активних компонентів робочого органу поза захисними зонами цих рослин.

Науковці ХНТУСГ представили свою концепцію активного робочого органу, призначеного для догляду за рослинами, позначену UA № 97072 [7] (рис. 2.5). Ця конструкція стосується машин, призначених для прополки та вичісування бур'янів, з метою підвищення ефективності цих операцій. Крім того, ця розробка полегшує одночасне розпушування ґрунту та автоматичне налаштування захисних зон для запобігання шкоди культурним рослинам.

Для виконання всіх цих завдань можна використовувати робочий орган роторного типу. Робочий орган активного культиватора складається з жорстких підпружинених зубів 3 круглого або тристороннього перетину, а також внутрішнього диска 4, оснащеного вертикальними ножами 5. Роторний компонент приводиться в дію від гідродвигуна через коробку передач 6, досягаючи кутової швидкості від 40 до 135 с⁻¹. Працюючи на змінну глибину від 35 до 75 мм, активні робочі органи культиватора ефективно зрізають бур'яни з одночасним вичісуванням. Захисна зона простягається від 28 до 55 мм, що відповідає швидкості руху культиватора від 1,23 до 3,35 м/с. Встановлення захисних екранів 7 служить для захисту розвиненої вегетативної маси рослин від пошкоджень.

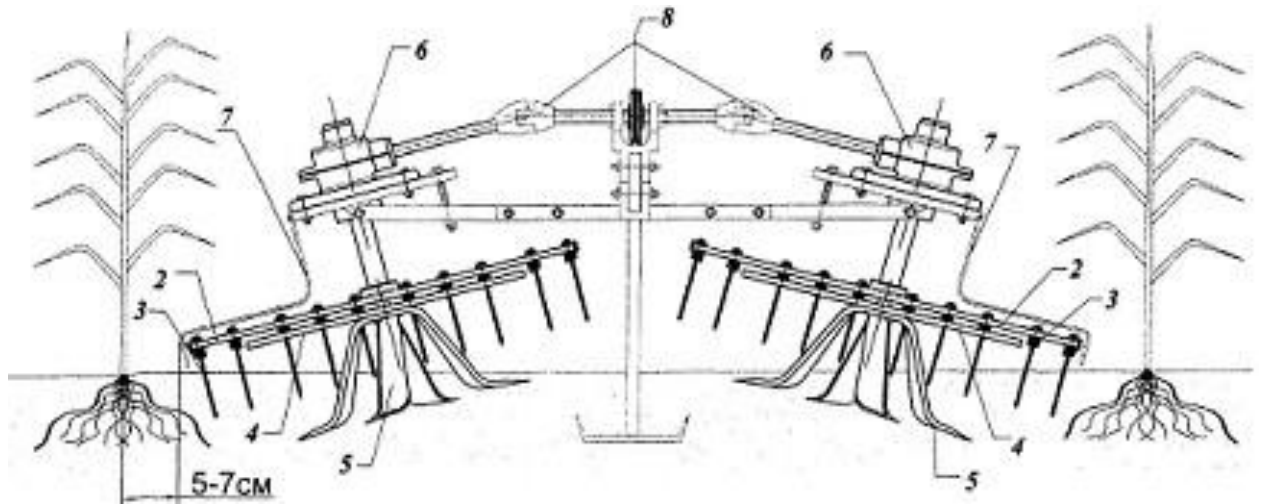


Рисунок 2.5 – Ротаційний культиватора №97072

1 – вісь 1; 2 - зовнішній диск; 3 – вичісувальні зуби; 4 – внутрішній диск 5 – ножі вертикальної фрези; 6 – редуктор; 7 – захисні щитки; 8 – карданний привід

Автори стверджують, що представлена конструкція роторного культиватора здатна прополювати аж 95,7% усієї площі поля. Ротаційна мотика, зображена на рис. 2.6, запропонований винахідниками з Угорщини. Цей винахід спрямований на розробку роторної сапи спеціально для цілей розпушування та прополки ґрунту. Процеси прополки або розпушування відбуваються при однаковій ширині обробітку, при цьому допускаються варіації кута атаки та частоти обертання активного робочого компонента.

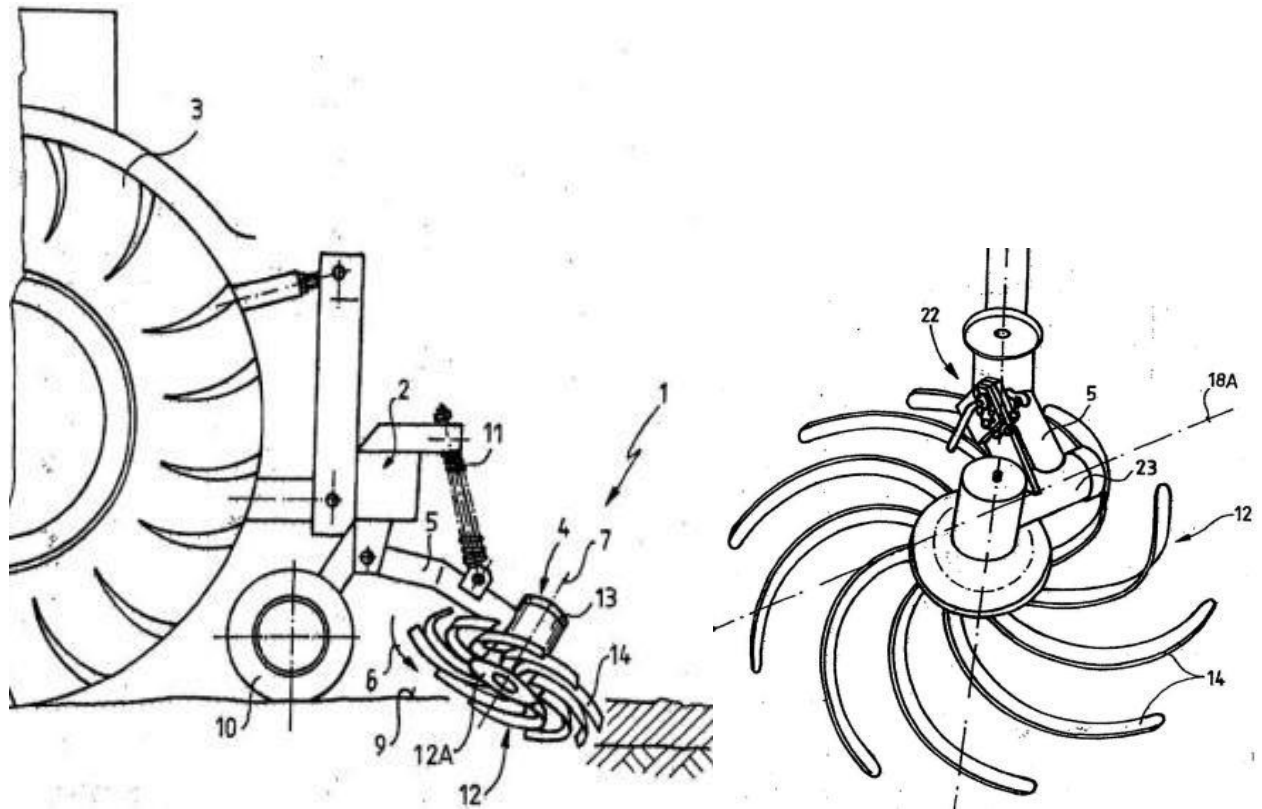


Рисунок 2.6 – Ротаційна мотика UA №99873 [8]

Під час роботи роторна сапа розташована під кутом, який може коливатися від 5 до 70 градусів відносно поверхні ґрунту. Стрілка 6 вказує напрямок обертання. Механічний привід разом із опорною частиною 13 приводить в дію мотику. Робочий компонент голчастий диск 12 має серпоподібні голки, які мають деяку кривизну у вертикальній площині. Конструкція сапки підтримується колесами 10. Коли обертова сапа рухається, голчасті елементи 14 диска 12 зачіпаються з ґрунтом, проникаючи в неї та створюючи крутний момент для обертової мотики. Регулювання кута атаки змінює як глибину обробітку ґрунту, так і частоту обертання активного робочого компонента.

Значною перевагою роторної сапи є її універсальність, завдяки якій вона може служити для двох цілей: як для прополки, так і для розпушування ґрунту. Крім того, компанія Ferrari представила інноваційне рішення для видалення бур'янів у рядках, відоме як автоматичний культиватор-проплювач Remoweed (рис. 2.7) [9].

Автоматичний культиватор-прополювач дозволяє виконувати прополку як у рядках, так і в міжряддях. Цей культиватор за один прохід виконує два завдання: розпушує ґрунт і одночасно зрізає бур'яни.

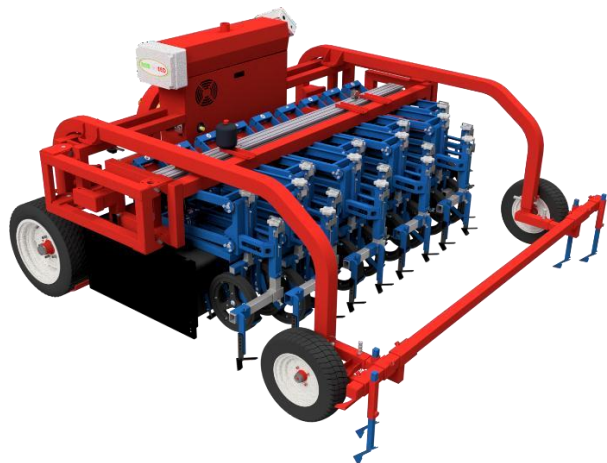


Рисунок 2.7 – Автоматичний культиватор-полільник Ferrari Remoweed [10]

Машина має шарнірну раму з підйомним механізмом, що керується гідравлічною системою. Він розроблений із секціями для прополки, які відповідають кількості рядів у загоні, обмежено максимум чотирма секціями на культиватор. Залежно від потужності трактора установка може вміщувати від одного до трьох культиваторів, що дозволяє обробляти цим машинно-тракторним агрегатом до 12 рядків за один прохід. Кожна секція містить інфрачервоний оптичний датчик, який визначає положення культурних рослин у рядку. Робочі органи культиватора, а саме леза, приводяться в дію за допомогою гідравлічного приводу. Між лопатями і рослинами зберігається захисна зона в 1 см. Робота кожної секції управляється незалежно через материнську плату, що полегшує точний контроль за розташуванням лез.

Керування культиватором REMOWEED здійснюється за допомогою сенсорної панелі, розташованої на робочому місці оператора в кабіні. Взаємодія

з інтерфейсом є відносно простою, оскільки піктограми інформативні та прості для розуміння.

Використання культиватора дозволяє практикувати органічне землеробство на сільськогосподарських ділянках без використання гербіцидів, а також зменшує витрати, пов'язані з ручною працею.

2.3 Висновки

Підвищення ефективності вирощування овочів залежить від використання високоякісного насіннєвого матеріалу, що характеризується підвищеною продуктивністю та стійкістю до кліматичних змін, хвороб і шкідників. Крім того, розвиток механізації має вирішальне значення для зменшення трудомісткості, пов'язаної з основними виробничими процесами овочівництва. Технічний прогрес помітно прискорив розвиток цієї галузі. Дослідження, проведені вченими з Австралії, Англії, Нідерландів, Данії та багатьох інших країн, відкривають перспективу персоналізованого та автоматизованого виробництва овочевих культур. Крім того, мостове землеробство займає значне місце в еволюції овочівництва.

Було проведено аналіз для підвищення ефективності мостового землеробства, особливо зосередившись на активних робочих органах, які використовуються для прополки та розпушування в овочівництві. Експертиза охоплювала сучасні досягнення в дизайні як вітчизняних, так і міжнародних виробників, а також патентний пошук, що стосується цієї теми.

Розглядаючи переваги та недоліки кожної розробки, наступний розділ буде зосереджений на конструкції активного робочого органу, призначеного для інтеграції з мостовою машиною.

РОЗДІЛ 3

КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Конструктивна схема й опис основного РО агромашини для мостового землеробства

Враховуючи переваги та недоліки розглянутих конструкцій культиваторів з активними робочими органами (РО), розроблено конструктивну схему культиватора з активними РО, придатну для поєднання з мостовою машиною. 3.1.

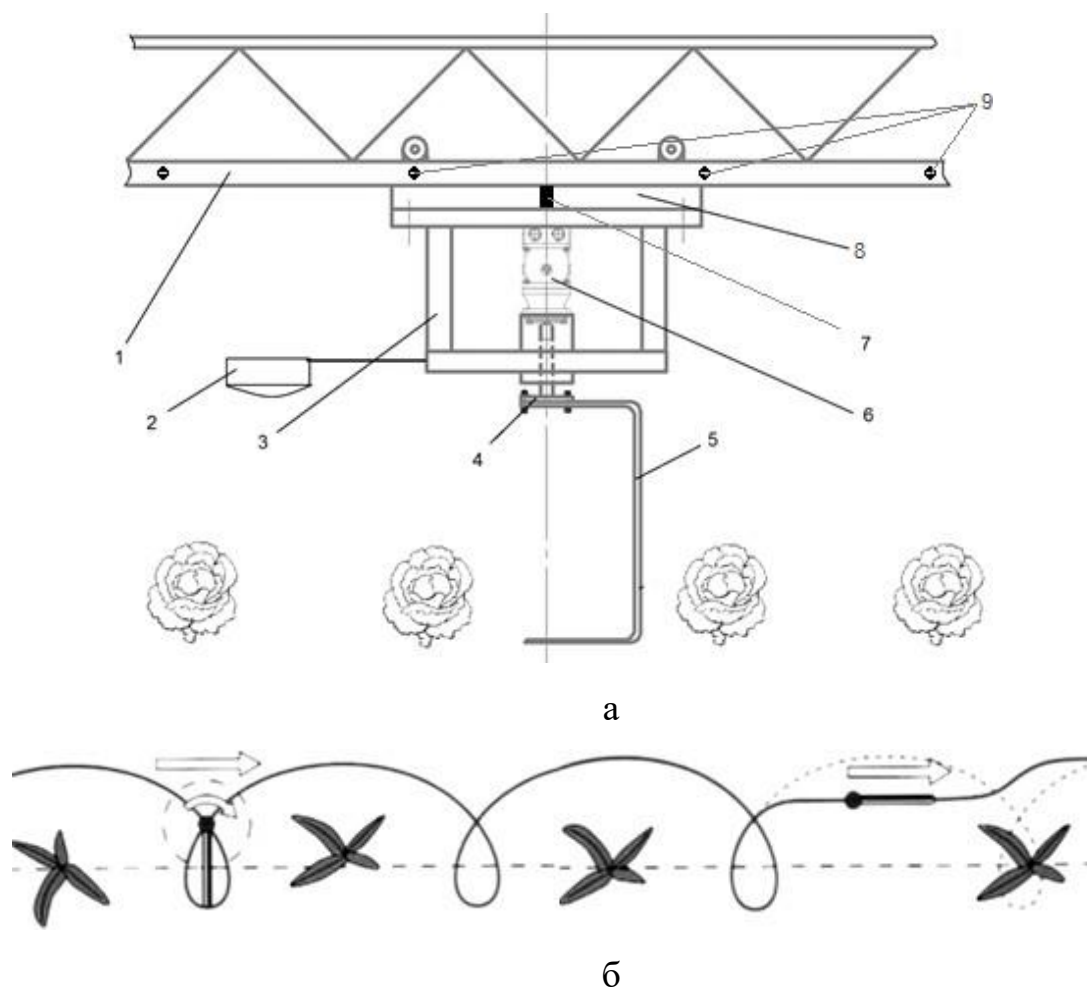


Рисунок 3.1 – Агромашини з активними РО для мостового землеробства:
а – Загальний вигляд агромашини; б – траекторія руху активного РО

В основу конструкції було покладено конкретне завдання: розробити активний робочий механізм, здатний забезпечити якісне зрізання, одночасно сприяючи видаленню бур'янів як у рядках, так і міжряддям, а також

забезпечуючи розпушування ґрунту. Конструкція культиватора дозволяє регулювати глибину і ширину робочої зони, а також кутову швидкість активних робочих елементів [10, 11].

Для вирішення поставленої задачі використовується поворотний активний робочий орган, який має поворотний вал 5, частота обертання якого визначається гідродвигуном 6, встановленим на рамі 3, яка закріплена на рухомій каретці 8 мостового модуля 1. для зрізання та знищення бур'янів робочий орган ротаційної борони занурюється в ґрунт на глибину 35-60 мм, обертаючись із частотою від 60 до 300 хв⁻¹. Захисна зона в рядку становить 45-55 мм, досягаючи лінійної швидкості 1-2 м/с. Крім того, встановлений блок 2 для сенсорного розпізнавання культурних рослин, щоб запобігти пошкодженню надземних частин рослин.

Механізм роботи активного робочого органу функціонує наступним чином. Під час руху каретки 8 гідромотор приводить в обертання поворотний вал, траєкторія якого зображена на (рис. 3.1, б). Робочий елемент плуга, що обертається, зчеплюється з ґрунтом у рядку, ефективно зрізаючи та розпушуючи його. Координація робочого органу здійснюється за допомогою контрольних точок 9 і сенсорного блоку, що відповідає за визначення місця установки. Під час роботи датчик положення каретки 7 взаємодіє з контрольними точками 9, тим самим модулюючи частоту обертання роторної фрези для запобігання потрапляння робочого органу в захисну зону, призначену для розміщення рослин. Крім того, через блок датчиків 2 здійснюється регулювання руху робочого органу.

Удосконалення цього методу стало можливим завдяки прогресу в сенсорних технологіях і гідравлічних приводах, які використовуються в малій механізації.

Використовуючи попередні дані, проведемо фундаментальні розрахунки конструкції культиватора з активними робочими елементами.

3.2 Дослідження основного робочого органу

Під час роботи активні робочі елементи культиватора витримують постійне навантаження. Щоб гарантувати надійну та тривалу роботу культиватора, оцінимо опір активного робочого органу (роторного ножа) на згинання, як показано на рис. 3.2 [12, 13].

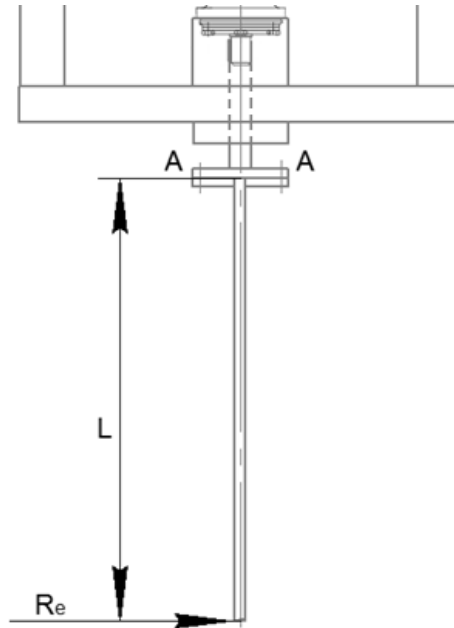


Рисунок 3.2 – Ротаційна сапа

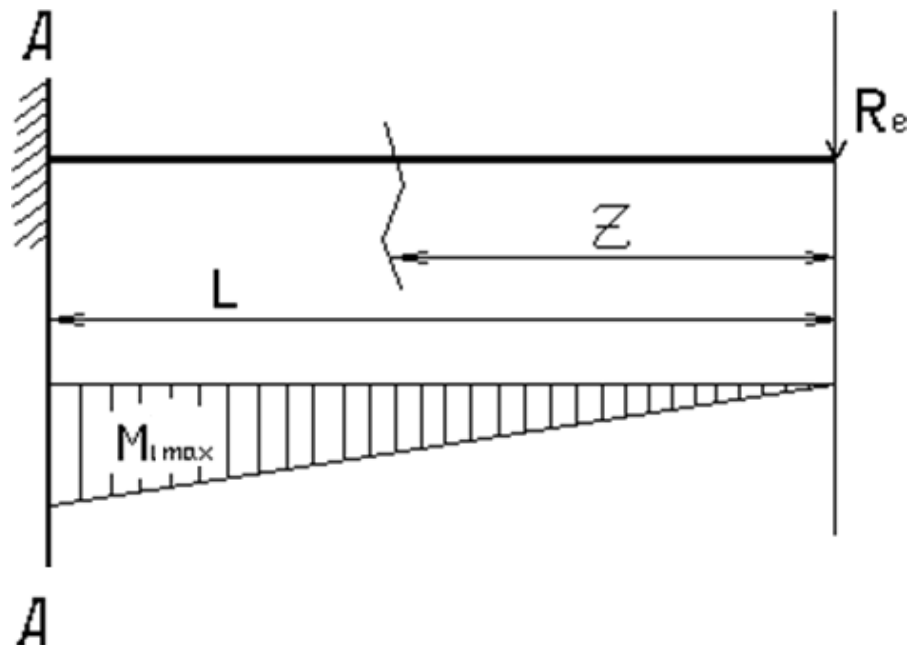


Рисунок 3.3 – Розрахункова схема

Згинаючий момент залежатиме від сили R_e [12, 14]:

$$M_z = R_e \cdot Z, \text{ Нм};$$

$$0 \leq Z \leq 1 \quad (3.1)$$

Ми визначимо максимальний згинальний момент на ділянці А-А відповідно до наступного рівняння:

$$M_{imax} = Re \cdot L, \text{ Нм}; \quad (3.2)$$

де R_e – тяговий опір ротаційної сапи, приймаємо $Re = 0,160$ кН;

L – відстань від точки прикладення сили Re до точки защемлення стійки, м;

L візьмемо за 500 мм,

тоді

$$M_{imax} = 160 \cdot 0,5 = 80 \text{ Нм.}$$

Розміри поперечного перерізу стійки будемо встановлювати за критеріями міцності на вигин [15]:

$$[\sigma_u] = \frac{M_{imax}}{W}, \quad (3.3)$$

де $[\sigma_u] = \sigma_T / n$; $\sigma_T = 200$ Н/мм² – межа текучості для сталі Ст-3;

$n = 3$ – коефіцієнт запасу міцності при знакоперемінному навантаженні;

W – момент опору перерізу;

тоді

$$[\sigma_u] = \frac{200}{3} = 67 \text{ Н/мм}^2;$$

звідси

$$W = \frac{M_{imax}}{[\sigma_u]} = \frac{80 \cdot 10^3}{67} = 1194,03 \text{ мм}^3;$$

Розміри перерізу стійки встановлюються за формулою для моменту опору прямокутної форми (перерізу стійки).

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \quad (3.4)$$

Ми встановлюємо параметр b рівним 18 мм, тоді як параметр h розраховуємо за допомогою рівняння моменту опору, представленого в розділі 3.4.

$$h = \sqrt{\frac{W \cdot 6}{b}} = \sqrt{\frac{1194,03}{18}} = 19,95 \text{ мм.} \quad (3,5)$$

Враховуючи діаметри отворів для кріплення стійки та забезпечуючи достатню міцність стійки для витримування короточасних перевантажень, які можуть виникнути під час роботи, визначаємо ширину стійки фрези $h=20$ мм. Це призводить до розрахунку міцності кріплення для активного робочого компонента.

3.3 Дослідження міцності кріплення основного робочого органу

Привідний фланець кріпиться до стійки болтами. Ці болти призначені для полегшення різання в одній площині при деформації фланців як приводу, так і стійки, пов'язаної з робочим органом (обертним валом) [16].

Кругова сила, що діє на відстані L від ріжучої поверхні пилки, що ріже болти, визначається наступним рівнянням:

$$F_z = \frac{M_{imax}}{L} = \frac{0,8}{0,5} = 0,4 \text{ кН;} \quad (3,6)$$

$$A_{cp} = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot k = \frac{0,8}{0,5} = 0,4 \text{ кН;} \quad (3,7)$$

Розглядаючи ці значення беручи до уваги умови міцності на зсув, ми приходимо до наступного:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F_z}{\pi \cdot k \cdot [\tau]_{cp}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,4 \cdot 10^3}{75 \cdot 10^5 \cdot 3,14}} = 0,068 \text{ м;} \quad (3,8)$$

Допустима напруга зсуву стрижня болта визначається згідно з [17]. Розрахований діаметр болта округлюється до стандартного розміру $d = 8$ мм і вибирається болт з метричною різьбою М8.

3.4 Розробка й дослідження гідравлічного приводу основного робочого органу

Конструкція принципової гідравлічної схеми об'ємного гідроприводу ОГП, включаючи кількість і тип застосовуваних гідравлічних і допоміжних пристроїв, сформульована з урахуванням технологічних вимог, що пред'являються до приводу, та умов його експлуатації [18].

Ці технологічні вимоги диктують характеристики руху вала гідромотора, такі як необхідність регулювання швидкості, здатність змінювати напрямок обертання, реалізація механізму «жорсткої» зупинки або можливість руху накатом за рахунок інерції, серед іншого. Ці фактори повинні бути включені в розробку основної гідравлічної схеми шляхом включення відповідних направляючих і регулюючих гідравлічних пристроїв.

Основна гідравлічна схема включає відповідні допоміжні пристрої, такі як фільтри, теплообмінники та гідроаккумулятори, для врахування умов роботи приводу.

Щоб захистити привод від перевантажень, у контур включені запобіжні клапани. При постановці принципової гідравлічної схеми ОГП обертового руху можливе використання як замкнутого, так і відкритого контурів циркуляції робочої рідини.

Приводи виконані за замкнутою схемою циркуляції робочого тіла, яка призначена для полегшення регулювання частоти обертання виконавчого механізму та/або зміни напрямку його обертання. Кожен гідравлічний двигун працює зі своїм власним спеціальним насосом.

Конфігурація циркуляції робочої рідини по відкритому контуру (див. рис. 3.4) характерна для гідроприводів, в яких використовується один насос для живлення одного або кількох гідромоторів. Ця установка також застосовна до систем, які використовують керування дроселем для регулювання частоти обертання вала гідралічного двигуна, що має відношення до нашого обговорення.

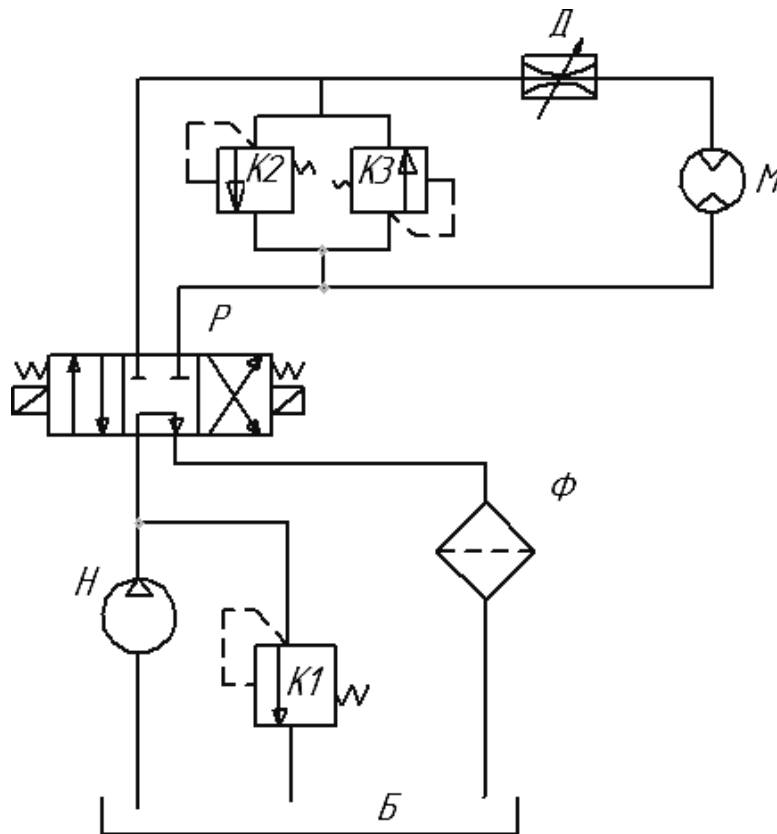


Рисунок 3.4 – Схема гідроприводу активного робочого органу культиватора

Схеми, в яких використовується відкрита циркуляція робочого тіла, виявляють більшу конструктивну простоту в порівнянні з схемами, в яких використовується замкнена циркуляція. Необхідна частота обертання вала гідромотора М визначається регулюючим дроселем Д, яким керує виконавчий механізм.

При використанні гідророзподільника Р з насосом і дренажними лініями гідромотора, закріпленими в нейтральному положенні (див. рис. 3.4), важливо

встановити запобіжні клапани К2 і К3. Ці клапани захищають лінії від стрибків тиску, викликаних інерцією виконавчого механізму при припиненні приводу. Цей тип розподільника забезпечує негайну зупинку робочого органу після обертання, тим самим усуваючи інерцію робочого органу та запобігаючи будь-якій неконтрольованій роботі. Для захисту насоса від надмірних навантажень використовується запобіжний клапан К1, відкалібрований на тиск, трохи вищий, ніж у клапанів К2 і К3.

Гідропривод, відповідальний за активні робочі елементи культиватора, повинен підтримувати задану частоту обертання робочого органу, захищаючи гідросистему від можливих перевантажень. Привід працює в тривалих умовах з постійним навантаженням, що дозволяє обертатися в обох напрямках. Вкрай важливо, щоб вал гідромотора не закінчився, коли привід не працює. Усі гідролінії побудовані з металевих трубопроводів. У напірній гідролінії є чотири повороти типу «просвердлена коса» разом з двома плавними поворотами під прямим кутом, тоді як зливна гідравлічна лінія містить чотири круті повороти і два плавні повороти під прямим кутом відповідно.

Гідравлічний привід розташований на поверхні, взаємодіючи із зовнішнім середовищем. Діапазон робочих температур від 0 до +40 °С.

Підвищення робочого тиску дозволяє отримати необхідну потужність для приводу при одночасному зниженні витрати робочої рідини, що призводить до зменшення габаритів і ваги насоса, гідромотора і всієї системи приводу. Отже, приводи, які працюють під високим робочим тиском, демонструють низьку інерцію та сприяють підвищеній швидкості. Однак це збільшення тиску також істотно підвищує вимоги до параметрів стану робочої рідини, а також до матеріалів, ущільнень, фільтрів і експлуатаційних витрат, пов'язаних з приводом. Навпаки, для досягнення високої потужності від ОГП при нижчому робочому тиску (до 10 МПа) стає важливим збільшити потік через гідравлічний двигун, що, як наслідок, призводить до збільшення розмірів, збільшення маси та вищої інерції

приводу вздовж з більшою вимогою до ємності для гідравлічного бака. Таким чином, у кожному конкретному сценарії робочий тиск проектованого ОГП повинен визначатися з урахуванням цільового призначення приводу та номінальних значень тиску, які зазвичай використовуються в сільськогосподарському машинобудуванні для насосів, гідромоторів, гідравлічних пристроїв і допоміжного обладнання. Допоміжні приводи зазвичай мають робочий тиск від 1,6 до 6,3 МПа.

У стаціонарних установках і пов'язаних з ними системах мобільних машин застосовуються робочі тиски від 6,3 до 10 МПа, а також в ОГП причіпної техніки з приводом від тракторного насоса. Для гідравлічних приводів, які використовуються в робочих органах, механізмах пересування, системах подачі та інших приводах порівнянної потужності, робочий тиск зазвичай становить від 16 до 25 МПа, із суворими специфікаціями щодо розмірів і ваги, що досягають 32 МПа. Робочий тиск, що позначається p , вибирається із стандартного ряду номінальних тисків [19]; для нашого конкретного випадку виберемо $p_1 = 10$ МПа.

Вибір робочої рідини для ОНГ здійснюється з урахуванням робочого тиску, режиму роботи приводу і температурних умов, в яких він працює. Для робочих тисків до 10 МПа рекомендована кінематична в'язкість робочої рідини (при температурі 50 °C) коливається від $\nu = 0,2 \cdot 10^{-4}$ до $0,5 \cdot 10^{-4}$ м²/с; для тиску від 10 до 20 МПа рекомендована в'язкість становить $\nu = 0,6 \cdot 10^{-4}$ до $1,1 \cdot 10^{-4}$ м²/с.

У разі роботи гідравлічних приводів у важких умовах, що характеризуються частими реверсами, змінними навантаженнями на шток у часі та регулюванням швидкості обертання дросельної заслінки, доцільно вибирати робочу рідину з більшою в'язкістю порівняно з тими, що використовуються в гідроприводах, що працюють за умов більш легких умов, які включають нижчий робочий тиск і постійні навантаження. При визначенні відповідної робочої рідини важливо враховувати діапазон робочих температур приводу. Мінімальна

температура робочої рідини, як правило, вважається на 10-15 °С вище її точки затвердіння. Крім того, при найвищій плюсовій температурі робочої рідини в гідробаку, яка коливається від 60 до 70 °С, в'язкість не повинна опускатися нижче порогового значення, яке забезпечує адекватне змащування пар тертя без шкоди для об'ємної ефективності.

Мінімальні та максимальні значення кінематичної в'язкості, виміряні в м²/с, встановлені для найпоширеніших різновидів роторних насосів.

	min ν	max ν
аксіально-поршневі	$(0,06-0,08) \cdot 10^{-4}$	$(18-20) \cdot 10^{-4}$
пластинчаті	$(0,10-0,12) \cdot 10^{-4}$	$(35-45) \cdot 10^{-4}$
шестеренні	$(0,16-0,18) \cdot 10^{-4}$	$(45-50) \cdot 10^{-4}$

У цьому випадку ми вибрали робочу рідину МГ-15-В, яка є мінеральною гідравлічною оливою, що характеризується кінематичною в'язкістю від 13,5 до 16,5 мм²/с при температурі 40 °С. Густина рідини при 20 °С становить $\rho=885$ кг/м³. Ця рідина призначена для використання в гідравлічних системах, оснащених різними типами насосів, здатних працювати при тиску понад 25 МПа і підтримувати температуру робочої рідини вище 90 °С. При виборі гідромотора важливо оцінити два варіанти приводу виконавчого механізму: один передбачає з'єднання через редуктор, який посилює крутний момент на валу гідромотора до значення $M_{\text{вм}}$, а інший передбачає безпосереднє з'єднання між вали гідромотора і механізму. У первинній (основній) конфігурації гідромотори з низьким крутним моментом приводять в дію привод через редуктор з передавальним числом i .

Розглянемо обставини використання коробки передач у системі приводу.

$$\frac{M_{2\text{ном}}}{n_{2\text{ном}}} < 10 \quad (3,9)$$

де $M_{2\text{ном}}$ – номінальний момент гідромотора, Нм;

$n_{2\text{ном}}$ – номінальна частота обертання вала, хв⁻¹

$$M_2 = \frac{M_{\text{вм}}}{i_p \cdot \eta_{\text{мр}}} \quad (3.10)$$

Тоді робоча частота валу гідравлічного мотора:

$$n_2 = i_p \cdot n_{\text{вм}} \quad (3.11)$$

де $\eta_{\text{мр}}$ – механічний ККД редуктора.

$n_{\text{вм}}$ частота обертання на валу гідромотора, хв^{-1}

Вибираючи передавальне число для редуктора, необхідно враховувати наступну умову.

Повинна бути виконана умова $M_{2\text{ном}} \geq M_2$, а потім перевірити, що робоча частота вала гідромотора відповідає вимозі $n_{2\text{ном}} \geq n_2$.

В альтернативному сценарії зазвичай використовуються гідравлічні двигуни, що характеризуються високим крутним моментом, з умовою $M_{2\text{ном}}/n_{2\text{ном}} > 10$. Тут робоча частота n_2 валу гідромотора відповідає частоті $n_{\text{вм}}$ виконавчого механізму, а крутний момент M_2 , що діє на гідравл. вал двигуна еквівалентний моменту опору $M_{\text{вм}}$.

Прийнятий стандартний розмір гідравлічного двигуна повинен відповідати критеріям $M_{2\text{ном}} \geq M_2$ і $n_{2\text{ном}} \geq n_2$. Крім того, важливо перевірити умову $n_2 \geq n_{2\text{мін}}$, причому $n_{2\text{мін}}$ представляє мінімально допустиму стабільну частоту обертання вала для цього гідравлічного двигуна.

Робоча частота гідравлічного двигуна позначається як $n_2 = n_{\text{вм}} = 120 \text{ хв}^{-1}$, що еквівалентно 2 с^{-1} , а крутний момент на валу гідравлічного двигуна визначається як $M_2 = M_{\text{вм}} = 12,3 \text{ Нм}$.

У нашому сценарії частота обертання є відносно низькою, і умова 3.9 задовольняється, що вказує на те, що привід працює безпосередньо без необхідності використання коробки передач. Вибираємо аксіально-поршневий гідромотор марки Г-15-22. Після вибору гідравлічного двигуна важливо

встановити розрахунковий тиск p_{1p} , який повинен створювати насос, щоб забезпечити крутний момент M_2 (Н·м) на валу вибраного гідродвигуна.

$$p_{1p} = \frac{2\pi \cdot M_2}{V_{o2} \cdot \eta_{M2} \cdot \eta_{\Gamma}} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 12,3}{18 \cdot 10^{-6} \cdot 0,87 \cdot 0,9} = 5,5 \text{ МПа}, \quad (3.12)$$

Враховуючи втрати тиску, необхідні для протидії опору в гідравлічному тракті ОГП, ідеальне значення p_{1p} визначається як (0,94-0,90) на основі вибраного робочого тиску для приводу. Коли значення p_{1p} нижчі, гідравлічний двигун відчуває недовантаження, що призводить до зниження ефективності приводу.

Отримане значення p_{1p} порівнюється з робочим тиском p , отриманим із стандартної серії тисків. Якщо p_{1p} перевищує p , необхідно підібрати наступний типорозмір гідромотора, який має більший робочий об'єм V_{o2} , коли вали гідромотора і приводу з'єднані безпосередньо.

Витрата в другому кварталі регулюється через гідромотор для підтримки необхідної частоти обертання n_2 вала гідромотора, вимірної в с^{-1} :

Важливо оцінити подачу насоса, враховуючи втрати, що виникають як у насосі, так і в гідравлічних системах.

$$Q_{1p} = \frac{Q_2}{\eta_{o1} \cdot \eta_{oa}} = \frac{0,0022}{0,95 \cdot 0,97} = 0,00238 \text{ м}^3/\text{хв} = 2,38 \text{ л/хв}, \quad (3.13)$$

де η_{o1} – попередньо прийнятий об'ємний ККД насоса, приймаємо 0,95;

η_{oa} – попередньо прийнятий об'ємний ККД гідроапаратів.

У попередніх розрахунках об'ємного ККД насосів відзначаються наступні значення: шестеренчасті насоси мають ККД від 0,75 до 0,9; пластинчато-роторні насоси демонструють ККД від 0,65 до 0,8; аксіально-поршневі насоси досягають ККД від 0,94 до 0,97; радіально-поршневі насоси мають ККД від 0,7 до 0,85. Для гідравлічних пристроїв об'ємний ККД для попередніх розрахунків представляється як $\eta_{op} = 0,95-0,97$, з прийнятим вибором 0,97.

Відповідні гідравлічні та допоміжні пристрої вибираються на основі встановленої принципової гідравлічної схеми ОГП, викладеної в третьому розділі

дипломного проекту, з урахуванням проектної витрати робочої рідини $Q_{1p} = 2,4$ хв⁻¹. Дана схема включає в себе трипозиційний розподільник з електромагнітним управлінням, запобіжний клапан, фільтр і бак.

Запобіжний і переливний клапани вибираються за сценарієм перепуску розрахункової подачі Q_{1p} при максимальному тиску відкриття РМХ. Як зазначено в [20], ми обираємо трипозиційний клапанний розподільник моделі 14ПГ73-1 з електромагнітним керуванням, де напірна лінія з'єднана з дренажною лінією в нейтральному положенні. Номінальна витрата рідини 8 л/хв, номінальний тиск 20 МПа. Втрата рідини кількісно визначається як $Q_{вт..p} = 0,33$ см³/с, що еквівалентно 0,020 л/хв, тоді як втрата тиску вимірюється при 0,3 МПа.

Враховуючи потік подачі до насоса Q_1 при відкритті тиску ртах, ми вибрали запобіжний клапан ВГ54-22 із загальними специфікаціями та характеристиками, детально описаними в Додатку В. Цей клапан має номінальний діапазон тиску 0,3-10 МПа, номінальна швидкість потоку 18 л/хв, а втрата рідини через клапан визначається як $Q_{вт..k}=0,4$ см³/с, що еквівалентно 0,024 л/хв. Стандартний розмір фільтра визначається за каталогом, гарантуючи, що його номінальна швидкість потоку відповідає або перевищує витрату робочої рідини на місці встановлення, а також підтверджує, що номінальна тонкість фільтрації відповідає розмірам зазорів у зчепленні вузли гідравлічних машин і пристроїв. Для відкритих гідравлічних систем (ОГП), що працюють при тиску до 6,3 МПа (зокрема пластинчастих гідравлічних машин), рекомендована номінальна тонкість фільтрації становить $\delta=63-80$ мкм. Навпаки, для систем з робочим тиском, що досягає 10 МПа (таких як редукторні та героторні гідравлічні машини), δ не повинно перевищувати 80 мкм. При застосуванні радіально-поршневих і аксіально-поршневих гідромашин при робочому тиску до 16 МПа доцільна тонкість $\delta = 25-40$ мкм, а при тиску понад 16 МПа - $\delta = 10-15$ мкм. В даному випадку, оскільки використовуються аксіально-поршневі машини, ми зупинили свій вибір на сітчастому фільтрі ФС-7, який забезпечує тонкість

фільтрації $\delta = 80$ мкм, пропускну здатність $Q = 7$ л/хв і перепад тиску $\Delta p_{\text{ф.}} = 0,25$ МПа.

Насос створює значний робочий тиск, відповідний заданому значенню гідравлічного ККД.

$$p_1 = p_{1p} + \Delta p = 5,48 + 0,678 = 6,15 \text{ МПа} \quad (3,14)$$

$$\eta_r = 1 - \frac{\Delta p}{p_1} = 1 - \frac{0,678}{6,15} = 0,89 \quad (3,15)$$

Використовуючи встановлене значення необхідної подачі насоса Q_1 і фактичного робочого тиску p_1 , з каталогу вибирається насос, який має найближчий номінальний тиск $p_{1\text{ном}} \geq p_1$ і номінальний потік $Q_{1\text{ном}} \geq Q_1$. З заданими значеннями необхідної витрати насоса, встановленої на $Q_1 = 2,26$ л/хв, і фактичного робочого тиску на $p_1 = 6,15$ МПа, ми визначаємо насос з каталогу, який має номінальний тиск $p_{1\text{н}} \geq p_1$ і номінальний витрата $Q_{1\text{н}} \geq Q_1$, гарантуючи, що він якомога ближче до робочого тиску.

Виберемо пластинчастий насос типу Г10-12, який має такі характеристики: $p_{1\text{н}} = 10$ МПа, $Q_p = 10$ л/хв, робочий об'єм $V_{o1} = 10$ см³/об, сумарний ККД $\eta = 0,85$, об'ємний ККД $\eta_{o1} = 0,92$, а також номінальна частота обертання валу 1000 хв⁻¹. Частота обертання робочого вала n_1 у с⁻¹ (враховуючи Q_1 у м³/с та робочий об'єм V_{o1} у м³) підтримуватиметься на заданій частоті обертання n_2 для вала гідромотора.

$$n_1 = \frac{Q_1}{V_{o1} \cdot \eta_{o1}} = \frac{0,038 \cdot 10^{-3}}{10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,92} = 4,13 \text{ с}^{-1} = 248 \text{ хв}^{-1}, \quad (3,16)$$

Номінальна частота $n_{1\text{н}}$ не повинна перевищувати робочу частоту. Вимога виконана, оскільки 1000 хв⁻¹ більше або дорівнює 248 хв⁻¹, що вказує на те, що насос вибрано належним чином.

Енергія, споживана насосом:

$$N_1 = \frac{p_1 \cdot Q_1}{1000} = \frac{6,15 \cdot 10^6 \cdot 0,038 \cdot 10^{-3}}{1000} = 0,233 \text{ кВт}. \quad (3,17)$$

Корисна енергія, яку генерує гідромотор:

$$N_2 = \frac{M_2 \cdot \omega_2}{1000} = \frac{2\pi \cdot n_2 \cdot M_2}{1000} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 2 \cdot 12,3}{1000} = 0,154 \text{ кВт.} \quad (3,18)$$

де ω_2 – кутова швидкість вала гідромотора, рад/с;

n_2 - частота обертання вала гідромотора в с^{-1} .

ККД в об'ємній гідропередачі.

$$\eta_{\text{гп}} = \frac{N_2}{N_1} = \frac{0,154}{0,233} = 0,66 \quad (3,19)$$

При оцінці необхідної потужності приводного двигуна для насоса необхідно враховувати режим його роботи, на який впливають характеристики навантаження на гідропривод. Можна виділити три режими роботи гідравлічних приводів.

Довгострокова робота означає роботу під постійним навантаженням протягом тривалого часу, подібного до тривалого періоду нагріву двигуна або тривалості постійного навантаження, яке часто повторюється. Навпаки, короткочасна робота передбачає короткий період пікового навантаження, під час якого насос створює тиск, що перевищує його номінальну потужність. Це характеризується часом простою або значно зменшеним навантаженням, з періодами простою, які значно довші, ніж час роботи під постійним навантаженням. Повторно-короткочасна робота передбачає цикли змінного навантаження, де періоди навантаження можна порівняти за тривалістю з періодами бездіяльності. При виборі приводного двигуна для довготривалого режиму роботи необхідно орієнтуватися на номінальний режим, який визначається максимальною необхідною продуктивністю насоса при найбільшому тиску нагнітання насоса.

У цьому випадку розрахунок потужності двигуна регулюється такою формулою.

$$N = 2\pi \cdot M_{дв} \cdot n_{дв} = \frac{k \cdot Q_1 \cdot p_1}{\eta_1} = \frac{1,1 \cdot 0,038 \cdot 10^{-3} \cdot 6,15 \cdot 10^6}{0,92 \cdot 1000} = 0,28 \text{ кВт.}, \quad (3,20)$$

де $M_{дв}$ – момент на валу двигуна, Нм;

$n_{дв}$ – частота обертання двигуна, c^{-1} ;

$k = 1,0-1,1$ – коефіцієнт запасу;

Q_1 – подача насоса, m^3/c ;

p_1 – тиск нагнітання насоса, Па;

η_1 – ККД насоса.

Якщо насос працює через проміжну передачу, потужність приводного двигуна буде відповідно вплинути.

$$N_{дв} = \frac{N}{\eta_{пр}} = \frac{0,28}{0,99} = 0,282 \text{ кВт}, \quad (3,21)$$

Загальна ефективність системи гідроприводу.

$$\eta = \frac{N}{N_{дв}} = \frac{0,154}{0,282} = 0,55 \quad (3,22)$$

Для регулювання швидкості руху робочих органів шляхом зміни потоку рідини використовуються дві різновиди регульованих гідравлічних дроселів: клапанні та золотникові. Вибір дроселя здійснюється за витратою робочої рідини, де $Q_1 \geq Q_d$, і робочим тиском $p_1 \geq p_d$. Для цього ми використовуємо дросель гідравлічного клапана G55-22B, який має мінімальну витрату рідини $Q_d \min = 0,11$ л/хв та максимальну $Q_d \max = 20$ л/хв, а також номінальний тиск $p_d = 12,5$ МПа.

З'ясуємо кількість тепла G , що виділяється в ОГН, враховуючи режим роботи приводу.

$$G = N_1 \cdot k_n \cdot (1 - \eta) = 0,233 \cdot 10^3 \cdot 0,3 \cdot (1 - 0,55) = 31,5 \text{ Вт}. \quad (3,23)$$

Передбачається, що робоча рідина підтримує постійну температуру, що відповідає рекомендованій робочій температурі $t_y = 70$ °С. Різниця температур на стінці бака

$$\Delta t = t_y - t_n = 70 - 20 = 50 \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (3,24)$$

Ефективна ємність гідробака достатня для охолодження робочої рідини. Загальний геометричний об'єм прямокутного гідробака, заповненого на 80% висоти, становить

$$V_6 = \frac{V}{0,8} = \frac{0,51}{0,8} = 0,65 \text{ дм}^3, \quad (3,25)$$

Для об'єму гідробака візьмемо найближче стандартне значення, яке становить 0,7 дм³.

3.5 Висновки

Враховуючи переваги та недоліки конструктивних рішень, розроблено культиватор, оснащений активними робочими органами, придатними для агрегування з мостовою машиною. За результатами розрахунків на міцність визначено геометричні розміри опорної стійки культиватора та елементів її кріплення. З урахуванням особливостей технологічного процесу культиватора розроблено схему гідроприводу активних робочих органів, а саме ротаційного плуга. У подальшому були проведені розрахунки та обрані первинні елементи гідроприводу.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ

Забезпечення охорони праці є ключовим аспектом будь-якої сільськогосподарської діяльності, зокрема в процесі впровадження систем точного землеробства під час основного обробітку ґрунту. Робота з сільськогосподарськими машинами, технікою та обладнанням, навіть за умов використання сучасних технологій, пов'язана з низкою потенційних ризиків, які можуть призвести до травмування працівників або виникнення небезпечних ситуацій. Важливо ідентифікувати основні небезпеки, пов'язані з експлуатацією сільськогосподарських агрегатів, та розробити ефективні заходи запобігання нещасним випадкам.

Основні небезпеки при роботі з агрегатами

1. Механічні небезпеки. Сільськогосподарська техніка, така як трактори, плуги, культиватори та інші агрегати, може мати рухомі частини, які здатні завдати травм у разі контакту з ними. До таких небезпек належать ріжучі, обертові та переміщувані елементи обладнання. Недотримання правил безпеки може призвести до пошкодження кінцівок або серйозних травм.

2. Травмування під час технічного обслуговування та ремонту. Під час ремонту та обслуговування сільськогосподарської техніки можуть виникати ризики здавлювання, порізів, забиття та інші травми. Особливо небезпечними є роботи, пов'язані з заміною деталей або ремонтами у важкодоступних місцях, що вимагає підвищеної уваги і дотримання техніки безпеки.

3. Електричні небезпеки. Використання електроприладів, датчиків і навігаційних систем, які застосовуються в точному землеробстві, може створювати ризики ураження електричним струмом, особливо в умовах підвищеної вологості або пошкодження ізоляції.

4. Хімічні ризики. Під час роботи з добривами або хімічними речовинами для захисту рослин можливе отруєння або подразнення шкіри та органів дихання, особливо якщо не використовуються засоби індивідуального захисту.

5. Небезпека через втоми та монотонність. Тривала робота на сільськогосподарських агрегатах, особливо під час однотипних операцій, може призвести до втоми, зниження уваги та підвищеного ризику помилок, які, у свою чергу, можуть призвести до нещасних випадків.

Заходи для запобігання небезпечним ситуаціям

1. Інструктаж та навчання. Всі працівники повинні проходити обов'язковий інструктаж з техніки безпеки та мати відповідні знання щодо правильної експлуатації техніки. Регулярне навчання та повторні інструктажі допоможуть підтримувати високий рівень обізнаності щодо можливих небезпек та методів їх уникнення.

2. Використання засобів індивідуального захисту. Для мінімізації ризиків працівники повинні використовувати засоби індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема, захисні рукавиці, взуття з металевими вставками, каски, захисні окуляри та респіратори. Особливу увагу слід приділяти роботі з хімічними речовинами та добривами, що вимагає використання спеціального одягу та засобів захисту органів дихання.

3. Регулярний технічний огляд обладнання. Сільськогосподарська техніка повинна регулярно проходити технічний огляд для виявлення та усунення несправностей. Це дозволяє запобігти виникненню аварій через зношування деталей або несправності систем. Особливу увагу слід звертати на системи гальмування, рульове керування, сигналізацію та освітлення.

4. Правильна організація робочого процесу. Важливо дотримуватися плану роботи та уникати перенавантаження працівників. Тривала робота повинна чергуватися з перервами для відпочинку, щоб уникнути втоми та зниження продуктивності.

5. Контроль за умовами праці. Періодичний контроль за умовами праці та станом техніки допомагає вчасно виявляти потенційні небезпеки та вживати необхідних заходів для їх усунення. Важливо забезпечити належну вентиляцію, освітлення та чистоту робочого місця.

Таким чином, забезпечення охорони праці під час впровадження систем точного землеробства має вирішальне значення для збереження здоров'я та життя працівників, а також для підвищення ефективності виробничих процесів.

РОЗДІЛ 5

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Проведені дослідження показали, що впровадження мостових технологій землеробства дозволяє підвищити загальну врожайність вирощуваних культур на 30-40%, в першу чергу за рахунок пом'якшення негативного впливу коткувальних машин на ґрунт. Впровадження електрифікованих мостових машин сприяє автоматизації основних технологічних процесів при одночасному зниженні витрат на паливно-мастильні матеріали. Крім того, запропонована конструкція культиватора, що включає активні робочі компоненти в поєднанні з мостовою машиною, дозволяє прополювати 98 відсотків оброблюваної площі, тим самим усуваючи потребу в гербіцидах.

Протягом першого року після впровадження мостової технології відзначається економічний ефект від заміни двигунів внутрішнього згорання електродвигунами, а також потенціал для автоматизації основних виробничих процесів у тягових машинах. Крім того, перший рік використання цієї технології виявляє ефект усунення ущільнення за допомогою штовхачів, що призводить до підвищення врожайності на 10-20%, в наступні роки – до 30-40%.

Економічний ефект оцінюватиметься шляхом порівняння двох способів вирощування капусти на площі 10 га, а саме стандартного застосування технології та проекту «агromісткове землеробство».

Визначимо річні експлуатаційні витрати r , які охоплюють витрати на оплату праці, вартість ПММ (або електроенергії в проектному варіанті), амортизаційні відрахування та витрати на ремонт.

Розрахунок річних операційних витрат проводитиметься за такою формулою:

$$B_{\text{екс}} = B_{\text{оп}} + A + T + B_{\text{рес}} + IB, \quad (5.1)$$

де: $V_{оп}$ – витрати на оплату праці, грн;
 A – відрахування на амортизацію, грн;
 T – відрахування на ремонти техобслуговування, грн;
 $V_{рес}$ – вартість енергетичних ресурсів, грн;
 IB – інші витрати грн.

Витрати, пов'язані з оплатою праці працівників:

$$V_{оп} = Z + H_з, \quad (5.2)$$

де: Z – фонд оплати праці, грн.;
 $H_з$ - нарахування на фонд оплати праці, грн.

$$H_з = 0,22 \cdot Z. \quad (5.3)$$

Фонд оплати праці встановлюється за такою формулою:

$$Z = N_n \cdot t_{доб} \cdot D \cdot C_{год}, \quad (5.4)$$

де: N_n - кількість робітників, чол.;
 $t_{доб}$ – час роботи машин, год/добу;
 D – час роботи машини на протязі року, днів;
 $C_{год}$ - ставка погодинної оплати, грн.

Амортизація втрати вартості:

$$A = \frac{B_m \cdot \alpha \cdot t_{доб} \cdot D}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t} \quad (5.5)$$

Витрати, пов'язані з поточним ремонтом та обслуговуванням:

$$T = \frac{B_m \cdot b \cdot t_{доб} \cdot D}{100 \cdot D \cdot Z \cdot t} \quad (5.6)$$

Затрати на енергоресурси:

$$V_{рес} = B_{пмм} + B_{елек}, \quad (5.7)$$

Витрати, віднесені до категорії інших витрат, які становлять 5% загальних операційних витрат:

$$IB = \frac{B_{on} + A + T + B_{pec}}{100} \cdot 5, \quad (5,8)$$

Річний економічний ефект від скорочення операційних витрат:

$$E_{EP} = B_{ексБ} - B_{ексП}, \text{ грн}, \quad (5,9)$$

Річний економічний вплив, враховуючи зростання продуктивності:

$$E_p = (E_{EP} + E_{Bp}), \text{ грн/га}, \quad (5.10)$$

Необхідний термін окупності проекту:

$$T_o = \frac{B_m}{E_p}, \quad (5.11)$$

Таблиця 5.1 відображає результати, отримані в результаті обчислень з використанням двох альтернатив: основного варіанту та проектного.

Показник	Варіанти		Проектний варіант в грн до базового
	Базовий	Проектний	
Склад агрегату	Енергетичні засоби згідно технологічної карти	Мостова машина та адаптовані с.г. машини	-
Вирощувана культура	Капуста	Капуста	-
Площа вирощування, га	10	10	-
Балансова вартість машин, грн	534923	450400	-84523
Річні експлуатаційні витрати – всього, грн	258947,56	193286,56	-65661
на оплату праці, грн	34979,84	44974,08	+9994,24
амортизаційні відрахування, грн	80238,45	67560	-12678,45
на поточні ремонти та техобслуговування, грн	53492,3	45040	-8452,3

витрати на паливо, грн	71376	9648	-61728
витрати на електроенергію, грн	5913,6	16400,16	10486,56
- інші витрати	12947,37	9664,32	-8452,3
Загальний економічний ефект, грн	163579		
Термін окупності проекту, років	1,72		

Таблиця 5.1 - Техніко-економічна оцінка проекту

Економічна ефективність проектного варіанту реалізується шляхом впровадження механізованих мостових систем, які використовують електричну енергію як джерело живлення. Застосування електроприводів сприяє автоматизації основних технологічних процесів, тим самим оптимізуючи навігацію робочих вузлів щодо сільськогосподарських об'єктів. Запровадження мостової агротехніки для вирощування овочів, посилене впровадженням передового активного культиватора для прополки, призвело до підвищення врожайності капусти з 33,4 т/га до 38,5 т/га. Отже, загальна річна економічна вигода від площі 10 га становить 163 579 грн., що дорівнює 16 357,9 грн./га. При такому рівні ефективності термін окупності проекту становитиме 1,72 року.

ВИСНОВКИ

1. Аналіз сучасних методів механізації вирощування овочів у відкритому ґрунті показав, що мостове землеробство є перспективним напрямком автоматизації ключових процесів у рослинництві, тим самим зменшуючи залежність від нафтових енергоносіїв.

2. Для підвищення ефективності вирощування овочів була запропонована пілотна ініціатива з мостового землеробства, яка передбачає розробку культиватора, оснащеного активними робочими компонентами.

3. Для виконання поставленого завдання було проведено дослідження конструкцій культиваторів з активними робочими елементами, що призвело до розробки конструкції культиватора для роботи з мостовою машиною.

4. Враховуючи особливості технологічного процесу культиватора, розроблено конструкцію гідروприводу його активних робочих елементів (роторної плити). Були проведені необхідні розрахунки, що призвели до вибору первинних елементів гідроприводу. За допомогою цих розрахунків було визначено, що потужність, необхідна для роботи одного активного компонента (обертального вала) культиватора, становить 0,154 кВт, з тяговим опором 0,16 кН і максимальною частотою обертання 120 хв^{-1} .

5. У зв'язку з впровадженням нової машини в господарстві встановлено комплекс заходів з охорони праці при експлуатації активного культиватора в поєднанні з мостовою машиною. Ці заходи спрямовані на зниження ризиків виробничого травматизму під час технологічних процесів. Крім того, використання мостових машин із передовою конструкцією культиватора сприятиме виключенню використання гербіцидів та сприятиме органічному вирощуванню овочевих культур.

6. Оцінка техніко-економічних показників проекту показала, що впровадження мостового землеробства, посиленого новоствореним активним культиватором для прополки, призвело до підвищення врожайності капусти з

33,4 т/га до 38,5 т/га. Річна економічна вигода на площу 10 га склала 163 579 грн.
При такому рівні ефективності термін окупності проекту оцінюється в 1,72 року.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

ДОДАТКИ

Додаток А