

ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності точного землеробства при вирощуванні овочів
шляхом розробки мостової машини**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-3-21 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Бойко Богдан Владиславович

Керівник: _____ Кобець Олександр Миколайович

Рецензент: _____

Дніпро – 2025

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ТСГМ

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Теслюк Г.В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

«___» _____ 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ**

Бойко Богдан Владиславович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності точного землеробства при вирощуванні овочів шляхом розробки мостової машини

керівник роботи Кобець Олександр Миколайович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«7» травня 2025 року № 964

2. Строк подання студентом роботи 11.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту Напрацювання науковців кафедри ТСГМ за обраною тематикою, огляд патентів та наукових робіт. Дані господарської діяльності фермерського господарства

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Аналіз господарської діяльності. 2. Технологічна частина. 3. Конструктивно-технологічні розрахунки. 4. Охорона праці та навколишнього середовища. 5. Техніко-економічна оцінка проекту. Висновки. Література.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Аналіз конструктивних рішень (А1). 2. Конструктивна схема (А1). 3. Технологічна схема (А1). 4. Складальне креслення (А1). 5. Деталювання (А1). 6. Економічні показники проекту (А1).

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-5	Кобець О.М., доцент		
нормоконтроль	Золотовська О.В., доцентка		

7. Дата видачі завдання: 26.03.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	26.03.25-3.04.25	
2	Технологічний	3.04.25-15.04.25	
3	Конструкційний	15.04.25-11.05.25	
4	Охорона праці	11.05.25- 15.05.25	
5	Економічний	15.05.25-26.05.25	
6	Графічна частина	26.05.25-11.06.25	

Студент

_____ (підпис)

Бойко Б.В.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Кобець О.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<i>Текстові документи</i>		
A4			52.ДП.045.000.000.ПЗ	Пояснювальна записка	80	
				<i>Графічні матеріали</i>		
A1		1	52.ДП.045.000.000.А	Аналіз конструктивних рішень	1	
A1		2	52.ДП.045.000.000.ТХ	Конструктивна схема	1	
A1		3	52.ДП.045.000.000.ТХ	Структурна схема	1	
A1		4	52.ДП.045.100.000.СК	Складальне креслення	1	
A1		5	52.ДП.045.100.000	Деталювання	1	
A1		6	52.ДП.045.000.000ПЕ	Економічні показники проекту	1	

Підп. і дата	Взам. інв.	Інв. №	Підп. і дата
Інв. № підп.			

					52.ДП.045.000.000.ПД			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бойко Б.В.			Відомість дипломного проекту	Літ	Лист	Листів
Перев.		Кобець О.М.					4	80
Т. контр.						ДДАЕУ		
Н. контр.		Золотовська				АІ-3-21		
Затв.		Теслюк Г.В.						

АНОТАЦІЯ

Бойко Б.В. Підвищення ефективності точного землеробства при вирощуванні овочів шляхом розробки мостової машини / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія» – ДДАЕУ, Дніпро, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології точного землеробства шляхом розробки механізму для точного позиціонування робочих органів сільськогосподарських машин.

Запропоноване конструктивне рішення підвищить ефективність роботи машино-тракторного агрегату на вирощуванні просапних культур, знизить навантаження на тракториста під час виконання основних операцій по догляду за просапними культурами.

В першому розділі проведено аналіз технологій точного землеробства та актуальність їх впровадження в аграрному господарстві приватного підприємства «АЕЛІТА МОТОРС».

В другому розділі обґрунтовано актуальність теми поставлено мету роботи та сформульовано завдання для її реалізації. Розглянуто особливості мостової технології в овочівництві та проведено аналіз мостових машин для її впровадження в господарстві.

В третьому розділі розроблено конструктивну схему мостової машини та проведено конструктивно-технологічні розрахунки її параметрів.

Розкрито питання з охорони праці які необхідно виконати при впровадженні та експлуатації машин мостового типу

В п'ятому розділі економічно обґрунтовано запропоноване конструктивне рішення.

Ключові слова: мостові машини, мостова технологія землеробство, точне землеробство, агроміст, каретка, кроковий рушій

ЗМІСТ

ВСТУП	8
Розділ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОСТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ОВОЧІВНИЦТВО	9
1.1. Аналіз існуючих технологій точного землеробства	9
1.2. Сучасні машини для точного висіву, обробітку та збирання овочів	13
1.3. Перспективи використання технологій точного землеробства в овочівництві	17
1.4. Підвищення ефективності точного землеробства шляхом впровадження мостової технології при вирощуванні овочів	19
1.5. Характеристика базового господарства для розробки мостової машини	21
1.6. Висновки	23
Розділ 2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МОСТОВОЇ МАШИНИ	24
2.1. Актуальність, мета та завдання кваліфікаційної роботи	24
2.2. Особливості мостової технології землеробства	26
2.3. Аналіз конструктивних та технологічних рішень мостових машин	29
2.4. Висновки	37
Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	38
3.1. Обґрунтування конструктивної схеми агромоста	38
3.2. Розрахунок координатної транспортної системи	43
3.3. Розрахунок мостової машини	47
3.3.1 Розрахунок на міцність ферми мостової машини	47
3.3.2 Розрахунок енергетичної частини агромоста	51
3.3.3 Розрахунок продуктивності агромоста	55

3.4. Висновок	57
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	58
4.1. Вимоги до безпеки при роботі з мостовими машинами	58
4.2. Аналіз ризиків та заходи з охорони праці	60
4.3. Екологічні аспекти застосування мостової машини	63
4.4. Висновки	65
Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	66
Висновки	74
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
ЛІТЕРАТУРА	77
ДОДАТКИ	80

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку сільського господарства все більшої актуальності набуває впровадження технологій точного землеробства, які дозволяють ефективно використовувати ресурси, підвищувати врожайність та якість продукції. Особливо це важливо для овочівництва, де кожен агротехнічний параметр – глибина висіву, міжряддя, точність дозування – має суттєвий вплив на кінцевий результат [1, 2].

Разом із розвитком інновацій у галузі агротехніки зростає потреба у спеціалізованих машинах, здатних забезпечити точне та щадне виконання технологічних операцій. Однак традиційні колісні трактори та навісне обладнання не завжди здатні відповідати сучасним вимогам, особливо коли йдеться про овочеві культури з делікатною структурою ґрунту і високою чутливістю до ущільнення.

У зв'язку з цим актуальною є розробка мостової сільськогосподарської машини, яка, завдяки своїй конструкції, мінімізує ущільнення ґрунту та забезпечує високу точність виконання технологічних операцій. Така техніка має значний потенціал для оптимізації процесів вирощування овочів, зниження втрат та підвищення економічної ефективності виробництва.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є підвищення ефективності точного землеробства у галузі овочівництва шляхом розробки конструктивно-технологічного рішення мостової машини, здатної виконувати точний висів, обробіток і догляд за культурами відповідно до заданих агротехнічних параметрів.

Розділ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ВПРОВАДЖЕННЯ МОСТОВОЇ ТЕХНОЛОГІЇ В ОВОЧІВНИЦТВО

1.1. Аналіз існуючих технологій точного землеробства

Точне землеробство є сучасним підходом до сільськогосподарського виробництва, що базується на врахуванні просторової неоднорідності ґрунтів, біологічних характеристик культур та мікрокліматичних умов. Цей підхід забезпечується за допомогою низки технологічних рішень, які дозволяють інженеру-агроному керувати кожним елементом технологічного процесу не узагальнено, а адресно – з точністю до кожного квадратного метра поля [3]. Такий підхід дозволяє накопичувати дані та виконувати їх аналіз для програмування майбутньої врожайності при вирощуванні сільськогосподарських культур (рис. 1.1).



Рис. 1.1. Інтелектуальне точне вирощування рослин

Супутникові навігаційні системи (GPS, GNSS). Однією з базових складових точного землеробства є використання супутникових систем позиціонування. В основі лежить принцип високоточного визначення координат техніки або обладнання на полі. Це дозволяє чітко дотримуватись ліній руху

машин, уникати перекриттів або пропусків при сівбі, обробітку ґрунту чи обприскуванні.

Завдяки точності навігації оператор отримує змогу оптимізувати витрати пального, мінімізувати техногенне ущільнення ґрунту та зменшити вплив людського фактора. Навіть при складних рельєфах або великій площі полів, сучасні RTK-системи забезпечують стабільну роботу з точністю до кількох сантиметрів (рис.1.2).

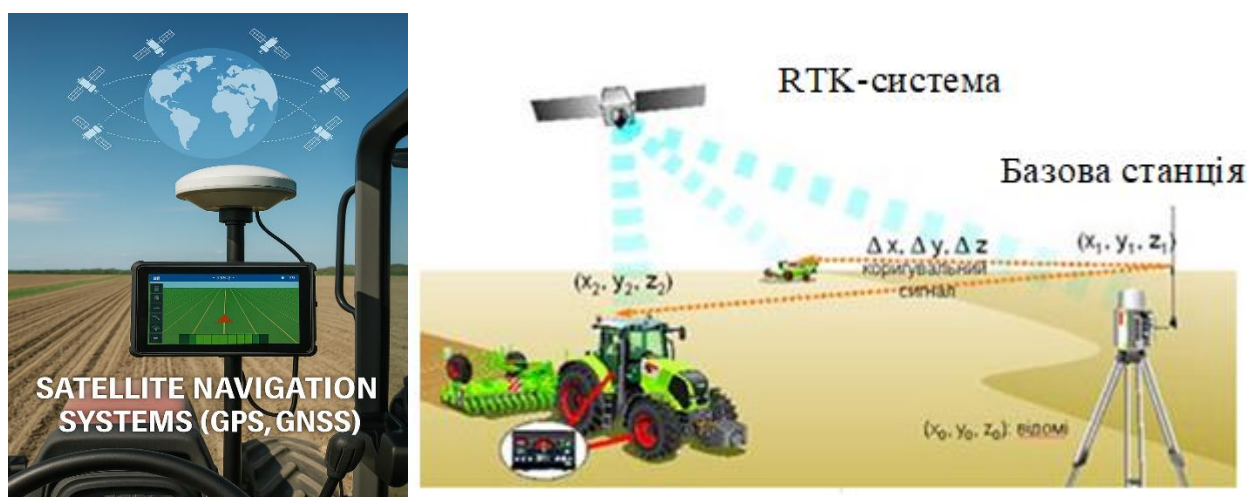


Рис.1.2. Супутникові навігаційні системи [4]

Однак слід зазначити, що такі технології вимагають якісного GPS-сигналу, наявності корекційних станцій та іноді потребують відповідної кваліфікації для налаштування. Тобто, точність – це результат правильної інженерної реалізації, а не лише встановлення антени.

Технологія змінного (диференційованого) внесення ресурсів (VRT)

Технологія VRT (Variable Rate Technology) [5] дозволяє змінювати норму внесення добрив, насіння чи засобів захисту рослин у залежності від агрохімічних властивостей конкретної ділянки поля. Вона базується на зональному підході, коли все поле розділяється на мікроділянки з різними характеристиками – вологістю, вмістом елементів живлення, рівнем засміченості тощо.

З технічного боку, для реалізації VRT використовуються агрегати з автоматизованими дозаторами, які можуть оперативнo змінювати норму внесення під час руху машини. Управління такими системами базується на попередньо створених картах-завдань, які генеруються на основі агрохімічного аналізу або даних дистанційного зондування.

Завдяки цьому досягається раціональне використання добрив і засобів захисту рослин (ЗЗР), зменшуються витрати, а головне – знижується навантаження на довкілля. Також забезпечується рівномірність росту культур, що позитивно впливає на врожайність (рис.1.3).



Рис.1.3. Технологія змінного (диференційованого) внесення добрив і ЗЗР

Водночас, ця технологія має певні технічні виклики: вона потребує високої точності в обробці даних, надійного сервісу агрохімічного моніторингу та дорогого обладнання. Тобто, її ефективність напряду залежить від якості технічного супроводу.

Дистанційне зондування, сенсорні системи та інтелектуальна аналітика

Сенсорні системи – це ще одна важлива складова точного землеробства. Вони включають як стаціонарні датчики в полі, так і мобільні платформи – дрони або самохідні міні-роботи, які сканують посіви та ґрунт (рис. 1.4) [3]. Збір даних відбувається в режимі реального часу, що дозволяє інженеру-агроному приймати рішення оперативнo.

Використання сенсорів дає змогу фіксувати рівень вологи, температуру, кількість бур'янів, ознаки захворювань або нестачі поживних речовин. Окремі системи здатні здійснювати мультиспектральне зондування, що дозволяє оцінити стан посівів ще до того, як проблема проявиться візуально.

Це забезпечує раннє виявлення потенційних загроз і дає змогу вжити заходів на ранньому етапі, що, у свою чергу, знижує витрати і підвищує ефективність застосування препаратів. Крім того, ці дані інтегруються в єдину базу, з якою працює програмне забезпечення господарства.



Рис.1.4. Складові систем дистанційного зондування та інтелектуальної аналітики в точному землеробстві

Серед недоліків таких систем – вартість сенсорів, необхідність в періодичній калібровці, а також залежність від погодних умов (наприклад, хмарність знижує ефективність дронів).

Інтелектуальні платформи та автоматизовані механізми

Останніми роками значного розвитку набули автоматизовані системи, які самостійно виконують агротехнічні операції. До таких належать роботизовані платформи з навісним обладнанням для виконання різних технологічних операцій (посів, догляд, моніторинг, збирання та ін.) при вирощуванні сільськогосподарських культур (рис.1.5) [6].

У більшості випадків вони працюють на основі попередньо заданих маршрутів або даних з сенсорів, а переміщення здійснюється із застосуванням електроприводів або гібридних силових установок. У поєднанні з GPS-навігацією такі машини здатні працювати автономно навіть уночі.



Рис.1.5. Роботизовані платформи в рослинництві

Основна перевага автоматизації полягає в зменшенні впливу людського фактора, підвищенні точності та продуктивності, а також у зниженні витрат на персонал. Однак інженерна реалізація таких систем вимагає глибокого технічного забезпечення: стабільного джерела живлення, високого рівня сервісу та адаптації до реальних польових умов.

1.2. Сучасні машини для точного висіву, обробітку та збирання овочів

Розвиток овочівництва в умовах точного землеробства потребує застосування машин, які забезпечують високу точність дозування, мінімальне ушкодження ґрунту, автоматизацію операцій, а також адаптацію до просторої мінливості поля. З урахуванням цього, сучасні машини для висіву, догляду та збирання овочевих культур сконструйовані відповідно до кількох ключових принципів: прецизійності, модульності, енергозбереження та інтеграції цифрових систем управління.

Машина для точного висіву овочів. Сучасні сівалки для овочів орієнтовані на точний (індивідуальний) висів насіння з максимально рівномірним інтервалом у рядку та міжрядді. У більшості конструкцій використовуються пневматичні або вакуумні висівні апарати, які забезпечують стабільне притягування насінин до отворів на диску та подачу в борозну без дублювання. Наприклад, пневматичні сівалки від компаній "Monosem", "Gaspardo", "Kverneland Accord" та ін., застосовують регульовані висівні диски, вакуумні вентилятори та електроприводи, що дозволяють гнучко налаштувати та підтримувати необхідну норму висіву навіть під час руху агрегату. На кафедрі ТСГМ запропоновано конструкцію гідравлічної сівалки для точного землеробства, що здатна здійснювати висів насіння овочевих культур за заздалегідь складеною картою (рис. 1.6) [7].



Рис.1.6. Сівалка для точного координатного висіву насіння овочевих культур

Інженерна особливість сучасних машин – наявність електронного контролю висіву, що дозволяє в реальному часі фіксувати пропуски або двійники, а також модульна конструкція секцій, які легко адаптуються під різні культури (морква, буряк, редиска, цибуля тощо). Для дрібного насіння

передбачені системи мікровисіву з підтримкою гідрофобної обробки та гідравлічним притисканням прикочувальних коліс.

Машини для міжрядного обробітку. Міжрядний обробіток овочевих культур потребує надзвичайно точної орієнтації, щоб не пошкодити рослини. Саме тому сучасні культиватори комплектуються камерними системами виявлення рядків або лазерними напрямниками, які дозволяють переміщати робочі органи з точністю до кількох сантиметрів.

Машини такого типу, наприклад Steketee IC, Garford Robocrop, оснащуються автоматизованими гідравлічними рамами, які змінюють положення секцій у залежності від зміщення рослин (рис.1.7) [8, 9]. Окремі моделі вже підтримують інтеграцію зі штучним інтелектом для розпізнавання бур'янів і можуть вибірково культивувати ділянки між культурами, не порушуючи рослини.



а)



б)

Рис.1.7 Машини для міжрядної обробки

а – система Steketee IC; б – система Robocrop

Важливим є і зниження маси агрегатів, яке досягається завдяки використанню алюмінієвих рам, карбонових кріплень, а також міні-гусеничних платформ, що знижують ущільнення ґрунту. Це дозволяє працювати навіть після дощу або за умов недостатньої несучості поля.

Машини для збирання овочів. Технології збирання овочів значно різняться залежно від культури, однак спільним для сучасних машин є

поєднання делікатності механізмів захвату, модуляції робочих параметрів та інтелектуального управління потоками продукції.

Для збору моркви, буряка, рідьки використовуються напівнавісні або самохідні копачі, які мають гідропривод регулювання глибини, сенсори вертикального профілю та системи очищення та сортування прямо на борту машини (наприклад, GRIMME, ASA-LIFT). У роторних системах подачі передбачено еластичні транспортери, які зменшують пошкодження коренеплодів.

У випадку томату, перцю, баклажану або інших ніжних культур активно впроваджуються мобільні роботизовані комплекси (рис. 1.8) з камерним зором, які здійснюють визначення ступеня стиглості плоду та його механічне збирання вакуумною насадкою або маніпулятором з гелевим покриттям.



Рис. 1.8. Роботизована платформа Agrobot для збору урожаю в рослинництві [10]

В окремих господарствах тестуються також мостові платформи [2] для збирання овочів салатів та зелені, які пересуваються над рядками при цьому використовується ручна праця або механізовані регульовані робочі органи маніпулятори з захватами (рис. 1.9).



Рис. 1.9. Мостова платформа для збирання овочів

Основною перевагою таких машин є відсутність ходових систем в агротехнічній зоні де відбувається вирощування культур, що усуває травмування вегетативної частини рослин, мінімізує забруднення продукції та підвищує якість збирання та врожайність.

1.3. Перспективи використання технологій точного землеробства в овочівництві

У сучасних умовах підвищення ефективності аграрного виробництва потребує впровадження інноваційних технологій, серед яких особливе місце займає точне землеробство. Ця концепція базується на раціональному управлінні агровиробництвом з використанням даних геоінформаційних систем, автоматизованих систем керування, дистанційного моніторингу та точного аналізу стану ґрунтів і рослин. Овочівництво, як одна з найінтенсивніших галузей сільського господарства, є надзвичайно чутливим до якості обробки ґрунту, точності висіву, умов зрошення та захисту рослин. Саме тому застосування технологій точного землеробства у цій сфері відкриває значні перспективи для підвищення урожайності, оптимізації використання ресурсів та

покращення якості продукції.

Одним із основних напрямів є впровадження зональної обробки поля, коли кожна ділянка отримує індивідуальне агротехнічне навантаження згідно з її потенціалом. Наприклад, завдяки аналізу карт родючості ґрунту можна здійснювати диференційоване внесення добрив, що зменшує їх перевитрати та знижує екологічне навантаження на довкілля.

Використання автоматизованих сівалок та обприскувачів з електронним керуванням забезпечує високу точність висіву насіння та дозування ЗЗР, що вкрай важливо для рівномірного розвитку овочевих культур. Системи GPS-навігації дозволяють уникати перекриттів та пропусків, підвищуючи ефективність роботи техніки. Водночас, сенсорні системи моніторингу вологи, розміщені у ґрунті або на платформах, дозволяють регулювати зрошення відповідно до фактичних потреб культур.

Крім цього, застосування дронів та супутникового моніторингу дає змогу в реальному часі аналізувати стан рослин, виявляти осередки хвороб чи шкідників і своєчасно реагувати, що сприяє зменшенню втрат врожаю.

Проведені дослідження показують, що точне землеробство дозволяє зменшити витрати на ЗЗР та добрива до 20–30%, підвищити врожайність овочевих культур на 10–25%, а також покращити якість продукції за рахунок кращих умов вирощування. Ці переваги стають особливо відчутними у великих господарствах з великою площею посівів, де технологічна оптимізація приносить значний економічний ефект.

Таким чином, інтеграція технологій точного землеробства в овочівництво є не лише перспективною, а й необхідною умовою для підвищення конкурентоспроможності українських виробників на внутрішньому та зовнішньому ринку. Надалі передбачається розширення використання роботизованих комплексів, агрономічних інформаційних платформ та інтелектуальних систем прийняття рішень, що ще більше підвищить ефективність овочевого виробництва.

1.4. Підвищення ефективності точного землеробства шляхом впровадження мостової технології при вирощуванні овочів

В зв'язку з постійно зростаючими вимогами в овочівництві до ефективності виробництва, якості продукції та ощадливого використання ресурсів. У цьому контексті точне землеробство, яке базується на управлінні виробничими процесами з урахуванням просторово-часової варіабельності ґрунтів і рослин, відіграє ключову роль. Одним з перспективних напрямів розвитку цієї технології є використання мостових (агромостових) машин, які дозволяють мінімізувати тиск на ґрунт і підвищити точність виконання агротехнічних операцій.

Мостова технологія передбачає використання самохідних платформ, які рухаються по спеціально заданих коліях (технологічних коліях), не наїжджаючи на робочу агротехнічну зону поля. Це дозволяє зберегти структуру ґрунту, знизити його ущільнення і забезпечити стабільне повітряне та водне середовище для кореневої системи овочевих культур. На відміну від традиційної техніки, яка проїжджає по всій площі поля, агромости гарантують нульове або мінімальне пошкодження оброблюваної зони, що є критично важливим для культур із чутливою кореневою системою [2]. Впровадження мостової машини в точне землеробство відкриває нові можливості для адресного догляду за рослинами. На платформу можуть бути встановлені високотехнологічні системи – мультиспектральні камери, сенсори вологості, дозатори рідких добрив, системи точкового поливу, автоматизовані маніпулятори для обробки рослин. Це дає змогу здійснювати індивідуальний підхід до кожної рослини або рядка – вносити добрива лише в зонах дефіциту, виявляти захворювання на ранній стадії, виконувати мікрообробіток тощо.

Крім того, мостові машини відзначаються високою енергоефективністю та економічністю. Оскільки вони рухаються по фіксованих коліях і можуть одночасно виконувати декілька технологічних операцій (наприклад, полив + живлення + моніторинг), це дозволяє зменшити кількість проходів по полю,

скоротити витрати пального та часу. Зменшення числа проходів також знижує ризик поширення хвороб та механічних пошкоджень рослин. Окремо слід відзначити, що мостові технології ідеально поєднуються з елементами автоматизації та роботизації, що відповідає сучасним трендам Smart Farming. Автономна навігація, дистанційне управління, збір та аналіз даних у режимі реального часу – усе це дозволяє агромові працювати в інтегрованій системі точного землеробства з мінімальним втручанням людини.

З агротехнічної точки зору, міст дозволяє забезпечити стабільну глибину посіву, рівномірне внесення добрив та ЗЗР, високоточну обробку міжрядь без ризику пошкодження культур. Це особливо актуально для овочевих культур, де точність агрооперацій безпосередньо впливає на врожайність, якість і товарний вигляд продукції.

У порівнянні з іншими відомими засобами механізації для точного землеробства, такими як автономні трактори, дрони, навігаційно-керовані сівалки та обприскувачі, мостова технологія має низку переваг. Насамперед, вона виключає випадкові наїзди на рослини, що часто трапляється при традиційному колісному русі техніки. По-друге, агроміст забезпечує багаторазове обслуговування рослин в межах одного циклу, не порушуючи ґрунт і не травмуючи насадження. По-третє, використання єдиної платформи для комплексного виконання кількох завдань дозволяє економити ресурси та зменшити експлуатаційні витрати. До того ж, завдяки руху по сталих коліях, досягається висока повторюваність та точність операцій, що є особливо важливим у вирощуванні високовартісних овочевих культур.

Таким чином, застосування мостової технології у поєднанні з принципами точного землеробства створює систему адаптивного і ощадливого землеробства, що дозволяє максимально ефективно використовувати ресурси, зменшити техногенне навантаження на ґрунт і підвищити загальну продуктивність овочівництва. Такий підхід відкриває перспективи для сталого розвитку галузі, особливо в умовах підвищених вимог до екологічності та рентабельності виробництва.

1.5 Характеристика базового господарства для розробки мостової машини

В якості впровадження пілотного проекту з розробкою мостової машини на вирощуванні овочів з використанням положень точного землеробства обрано приватне підприємство «АЕЛІТА МОТОРС», агрогосподарство якого розміщується в с. Зоря Дніпровського району Дніпропетровської області. Це підприємство є репрезентативним прикладом середнього аграрного виробника, який має достатній виробничий потенціал, щоб апробувати нові технічні рішення у виробничих умовах, зокрема в галузі овочівництва.

Загальні виробничі характеристики

Земельний фонд господарства станом на 2024 рік становить 490 гектарів, що забезпечує економічну доцільність впровадження новітніх механізованих систем, особливо при розподілі ресурсів по культурах. Структура посівних площ підприємства сформована за інтенсивною моделлю, яка спрямована на досягнення стабільної врожайності із мінімальними втратами ресурсів.

Основні напрямки сільськогосподарського виробництва розподіляються наступним чином:

- Кукурудза – 26,1%,
- Озима пшениця – 24,7%,
- Соняшник – 23,7%,
- Овочеві культури – 9,8%.

Хоча овочеві культури займають відносно невелику частку земельного фонду, саме ця галузь є найбільш ресурсоємною і технологічно чутливою. Її інтенсивний характер передбачає високу частоту проходів техніки, потребу в диференційованому обробітку, регулярному моніторингу стану рослин і точності внесення ресурсів.

Техніко-технологічна база господарства

ПІ «АЕЛІТА МОТОРС» володіє сучасним машинно-тракторним парком, який включає в себе колісні трактори середнього тягового класу (John Deere, Case, МТЗ), зернозбиральну та просапну техніку, а також окремі одиниці спеціалізованого обладнання для догляду за овочевими культурами.

На полях під овочевими культурами використовуються сівалки точного висіву, міжрядні культиватори, причіпні поливні системи, що дає змогу реалізовувати базові принципи прецизійного землеробства. Проте середній розмір ділянок на яких вирощуються овочеві культури (томати, капуста, перець, цибуля та картопля) коливається в межах 10–20 га і потребує впровадження більш локалізованої, але в той же час – гнучкої і технологічної техніки.

Інженерно-агрономічне обґрунтування вибору

Для запровадження мостової технології в точному землеробстві підприємство є технічно підготовленим з таких причин:

1. Чітка сітка посівних площ, що дозволяє організувати постійні контрольовані колії для роботи мостової техніки.
2. Достатній рівень механізації, на основі якого можна інтегрувати або адаптувати нові модулі без капітальних змін у логістиці виробництва.
3. Наявність локалізованих овочевих ділянок, що спрощує побудову фіксованої або мобільно-фіксованої платформи, яка діє в межах одного поля.
4. Зацікавленість у цифровізації – господарство вже впроваджує супутникову навігацію, агрохімічне зонування полів, облік вологозабезпечення, що є основою для автоматизованих рішень у догляді за овочами.

Потенціал для впровадження мостової машини

Можливість апробації мостової машини в умовах ПІ «АЕЛІТА МОТОРС» ґрунтується не лише на технічній спроможності підприємства, але й на реальній потребі в автоматизації процесів догляду за овочевими культурами.

Враховуючи підвищену частоту агрооперацій, вимогливість до якості висіву, мінімальні допуски при міжрядному обробітку – впровадження мостової машини дозволить:

- зменшити кількість проходів техніки;
- скоротити витрати на паливо, обслуговування і персонал;
- підвищити точність і делікатність виконання агрооперацій;
- інтегрувати інтелектуальні модулі для моніторингу посівів.

1.6. Висновки

1. Проведений аналіз технологій точного землеробства дозволив сформулювати комплексне уявлення про стан, перспективи та існуючі обмеження у механізації овочівництва, зокрема в умовах відкритого ґрунту. Розгляд сучасних технологій засвідчив, що вектор розвитку аграрної техніки однозначно зміщується у бік автоматизації, адресності впливу та адаптивного управління, з використанням супутникової навігації, сенсорики, VRT-систем і роботизованих платформ.

3. Аналіз машин для точного землеробства засвідчив, що сучасні інтелектуальні рішення дають суттєве підвищення точності, зменшення витрат ресурсів і втрат урожаю, але за умов наявності адаптованої до них технічної бази. В умовах традиційних тракторів і причіпних агрегатів ці переваги або втрачаються, або реалізуються частково.

4. Впровадження мостових машин в точне землеробство на вирощуванні овочевих культур є не лише доцільним, а й об'єктивно обґрунтованим з точки зору агроінженерії. Такий підхід дозволяє поєднати точність, автоматизацію та дбайливе ставлення до ґрунту в єдиній машині, яка відповідатиме потребам сучасного виробництва та забезпечить якісно новий рівень ефективності в овочівництві.

2. ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ МОСТОВОЇ МАШИНИ

2.1. Актуальність, мета та завдання кваліфікаційної роботи

На сучасному етапі розвитку аграрного сектору ключовим вектором модернізації є підвищення ефективності використання ресурсів та мінімізація негативного впливу на ґрунт і довкілля, що в умовах овочевого виробництва набуває особливої актуальності. Це зумовлено як високою чутливістю овочевих культур до порушень агрофону, так і значною щільністю операцій, які здійснюються впродовж вегетаційного періоду. У цьому контексті традиційні форми механізації все частіше виявляються недосконалими, що потребує переходу до принципово нових інженерних рішень – таких, як мостові машини.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка інженерно обґрунтованої конструкції універсальної мостової машини для виконання технологічних операцій у процесі вирощування овочевих культур у системі точного землеробства, із забезпеченням високої точності руху, мінімального впливу на ґрунт, адаптивності до різних культур і інтеграції з цифровими системами керування.

Реалізація цієї мети передбачає поєднання конструктивних рішень, принципів автоматизації та технологічної адаптації до умов відкритого ґрунту, що повністю відповідає тенденціям, які простежуються в сучасному інженерному забезпеченні агросектору [11,12].

Основні завдання роботи:

- Провести огляд і аналітичне узагальнення сучасного стану машин та технологій точного землеробства, з особливим акцентом на вирощування овочевих культур, виявити обмеження традиційних агрегатів у цій сфері (опрацьовано в розділі 1).
- Сформулювати вимоги до мостової машини з урахуванням агротехнічних, енергетичних і експлуатаційних умов, які виникають при обробці овочевих

культур на середніх та малих площах, включаючи фактори ущільнення ґрунту, точність навігації, адаптивність конструкції та багатофункціональність.

- Розробити конструктивну схему мостової машини врахувавши переваги та недоліки проаналізованих машин.
- Провести конструктивні розрахунки з вибором елементів конструкції за критеріями надійності, енергоефективності та універсальності.
- Розробити заходи з охорони праці при впровадженні та експлуатації машин мостового типу.
- Провести економічне обґрунтування запропонованого конструктивного рішення.

Обґрунтування актуальності завдань

Згідно з оглядовими матеріалами *AgEng Conference Proceedings* [13], більшість дослідників і розробників у галузі агроінженерії сходяться на думці, що перспективною формою організації землеробства є платформенно-модульна техніка з розмежуванням функцій переміщення, обробітку та управління. У цьому сенсі мостова машина – це не лише альтернатива трактору, а повноцінна багатофункціональна інженерна система, яка відповідає викликам нового аграрного устрою.

В умовах господарства ПП «АЕЛІТА МОТОРС» така машина дозволить зменшити ущільнення ґрунту в 3–4 рази, скоротити кількість проходів техніки, а також автоматизувати до 60–70% агрооперацій на полі. Це не лише оптимізує ресурсне навантаження, а й підвищить загальну ефективність овочевого виробництва, що підтверджує доцільність поставлених у роботі завдань.

2.2. Особливості мостової технології землеробства

Загальні положення

Мостова технологія землеробства є новітньою формою організації польових робіт, у якій основні операції здійснюються за допомогою агромоста – просторової ферми, встановленої на ходовій системі, що переміщується по спеціальних інженерних зонах без безпосереднього контакту з оброблюваним ґрунтом. Такий принцип дозволяє повністю усунути ущільнення ґрунту під час агрооперацій, що є однією з основних переваг мостової системи порівняно з традиційною механізацією.

Машини, які застосовуються. У мостовому землеробстві використовуються такі типи машин:

- Автоматизовані мостові комплекси (АМАК) – агрозаводи по вирощуванню рослинної продукції з використанням мостових конструкцій з приводними каретками, які переміщують змінні модулі (посівні, ґрунтообробні, обприскувачі, збиральні машини, поливні тощо) (рис.2.1.) [1].

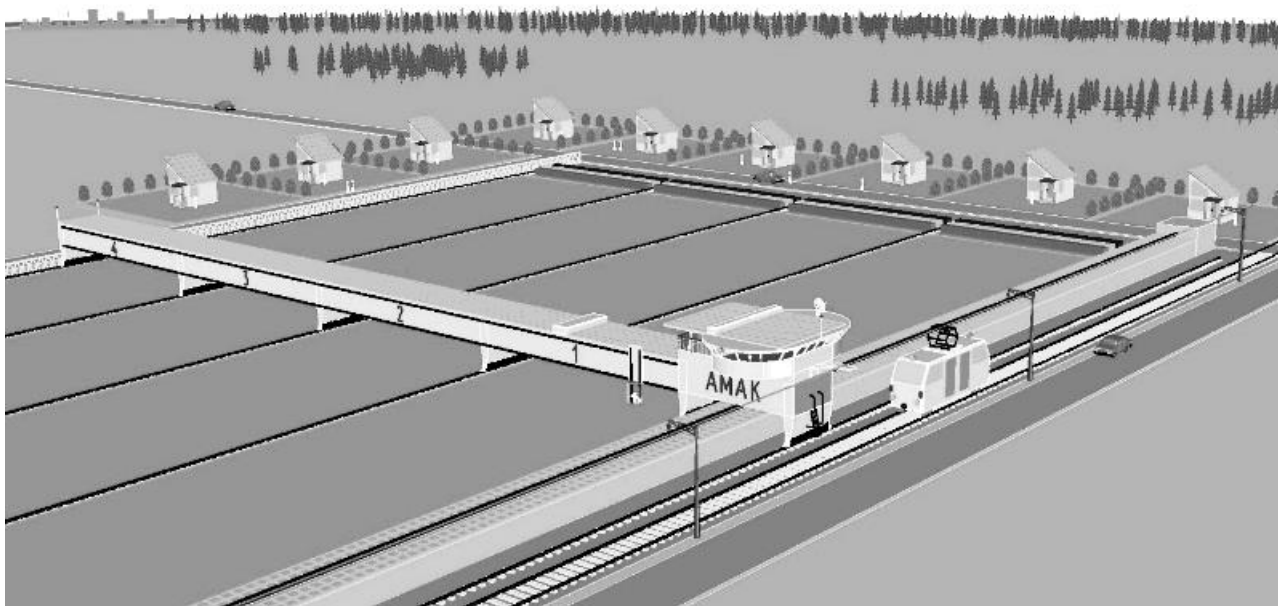


Рис. 2.1. Агрозаводи з автоматизованим мостовими комплексами (АМАК)

- Крокуючо-рейкові агромости – агрегати з ходовими апаратами, які не потребують постійних рейок і здатні переставляти свої опорні рейки (направляючі), що спрощує облаштування координатно-транспортної системи на полі (рис. 2.2) [2].

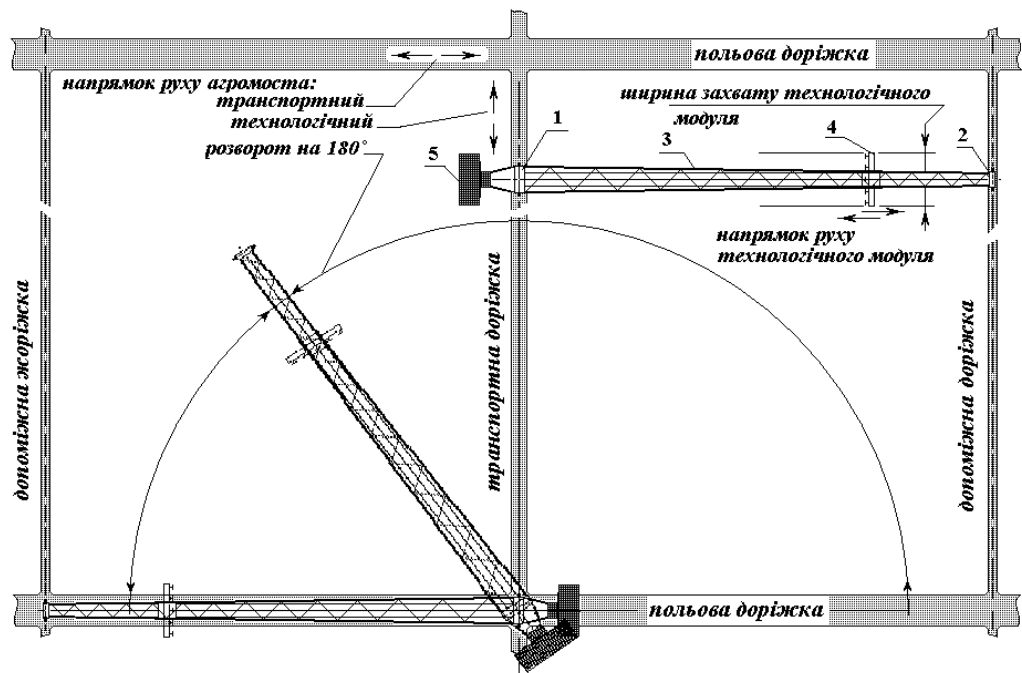


Рис. 2.2. Схема функціонування одноконсольного агромоста [2]:

- 1 – ходовий рушій крокуючого типу; 2 – підтримуюча ходова частина;
 3 – каркас агромоста (ферма); 4 – модульна каретка; 5 – баласт (противага)
- Мостові трактори – модернізовані трактори із збільшеним кліренсом та жорсткою фермою, які працюють по визначеній траєкторії та не в'їжджають у зону росту рослин (рис.2.3) [2].



Рис. 2.3. Портальний трактор мостового типу Д. Довлера

Сучасні рішення (зокрема система AGROKRUIH або інженерні модулі ДДАЕУ) передбачають інтеграцію електроприводів, координатного висіву, автоматичного моніторингу стану рослин і навіть точкове обслуговування заданих ділянок.

Поділ поля: агротехнічна та технологічна зони

Мостове землеробство передбачає поділ поля на:

- агротехнічну зону (Fa) – безпосередня зона вирощування рослин, де відсутній рух рушіїв енергетичного засобу;
- інженерну або технологічну зону (Fi) – смуги руху для переміщення рушіїв, встановлення опорних стовпчиків з напрямними рейками, транспортні доріжки.

Система розміщення транспортних доріжок та смуг руху рушіїв мостових машин називається координатно-транспортною. Вона забезпечує двоплощинне переміщення машини: по напрямних вздовж поля і поперечно з робочими органами знарядь відносно направляючих каркаса (ферми) мостової машини. При цьому на технологічну зону припадає лише 8–10% поля, що істотно покращує коефіцієнт землевикористання і структуру ґрунту .

Планування поля та вибір довжини машини

Поле структурується за наступним прикладом (рис. 2.4):

- Карти – великі смуги, на які ділиться ділянка перпендикулярно базовій осі;
- Загінки – ділянки шириною, що дорівнює довжині ферми агромота.

Наприклад, якщо ширина карти становить 400 м, а технологічна ширина загінки – 20 м, то ферма повинна мати довжину що відповідає ширині загінки тобто 20 метрам для повного охоплення. В даний час прогінна частина мостових машин коливається від 12 до 24 метрів .

На вибір габаритів впливають:

- ширина міжрядь і рослинні групи;
- тип ґрунту і конфігурація ділянки;

- технічна доступність під'їзду енергопостачання, води і сервісного обслуговування.

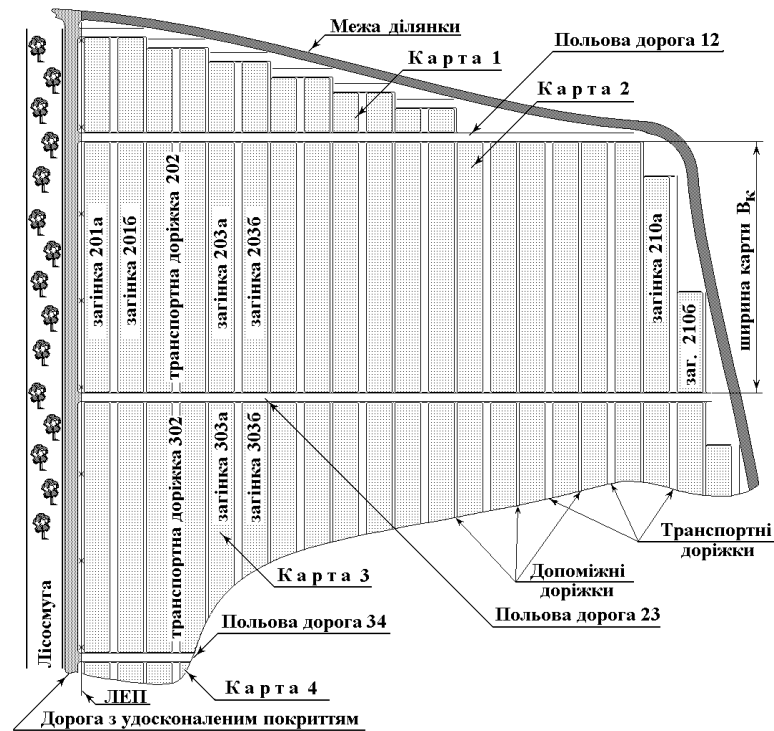


Рис. 2.4. Поле облаштоване за мостовою технологією землеробства

2.3. Аналіз конструктивних та технологічних рішень мостових машин

Загальні положення

Мостова технологія в овочівництві передбачає використання спеціалізованих машин, які переміщуються по постійних технологічних коліях, мінімізуючи ущільнення ґрунту та забезпечуючи точне виконання агротехнічних операцій. Цей підхід дозволяє зменшити негативний вплив на ґрунт, покращити його структуру та підвищити ефективність використання ресурсів.

Технологічні рішення

Сучасні мостові машини для овочівництва оснащуються різноманітними модулями, які дозволяють виконувати широкий спектр операцій: сівба, обробіток, полив, збирання врожаю тощо. Наприклад, система FarmBot [14] (рис. 2.5).

FarmBot це модульна система мостового типу для точного овочівництва, відкритий проект автоматизованої фермерської системи, призначений для невеликих ділянок, теплиць та дослідницьких цілей. Його конструкція базується на каркасі з алюмінієвих профілів, що забезпечує точне управління агротехнічними операціями.



Рис. 2.5. Модульна система мостового типу FarmBot

Довжина прогонової частини: Моделі FarmBot Genesis мають робочу зону до 3 м у довжину та 1,5 м у ширину, тоді як версія Genesis XL розширює ці параметри до 6 м на 3 м. Система переміщується по V-подібним алюмінієвим напрямним за допомогою коліс з V-подібними роликami, що забезпечує стабільний рух та точне позиціонування. Рух у напрямках X, Y, Z здійснюється за допомогою ремінно-шестеренчастої системи, з приводом від крокових двигунів NEMA 17. Це дозволяє точно позиціонувати інструменти в тривимірному просторі. FarmBot оснащений змінними інструментами, такими як сівалка, поливальна насадка маніпулятор для видалення бур'янів. Точність роботи системи та догляд за культурами підтримується за допомогою датчиків. Управління системою здійснюється через веб-інтерфейс, що дозволяє планувати та контролювати агротехнічні операції дистанційно.

В якості наступного агрегату мостового типу розглянемо системний трактор NEXAT [15] від німецької компанії Kalverkamp Innovation. NEXAT це високопродуктивна система для великомасштабного землеробства, яка поєднує в собі функції трактора та різноманітних сільськогосподарських машин, забезпечуючи повний цикл агротехнічних операцій на великих площах.



Рис.2.6. Системний трактор мостового типу Nexat

Розглянемо особливості конструкції даного мостового трактора. Довжина прогінної частини становить 14 метрів, що дозволяє охоплювати значні площі за один прохід. Ходова частина виготовляється в двох варіантах класична колісна та за замовленням гусенична. Оснащена електричним приводом на кожне з чотирьох ведучих коліс, що забезпечує високу маневреність та зменшує ущільнення ґрунту.

Особливості переміщення трактора Nexat. Як уже говорилося рух здійснюється за допомогою електричних двигунів, які живляться від двох дизельних генераторів потужністю по 550 к.с. кожен. Це забезпечує автономну роботу системи на великих полях.

Модульність та автоматизація NEXAT має модульну конструкцію, що дозволяє швидко змінювати робочі інструменти для виконання різних

агротехнічних операцій, таких як обробіток ґрунту, сівба, обприскування та збирання врожаю. Система підтримує стандартні інтерфейси, що забезпечує сумісність з обладнанням різних виробників.

Наступним об'єктом нашої уваги являється автономна мостова платформа HORSCH RO G 500 (рис. 2.7) для посіву та догляду за культурами [16]. Вона призначена для точного обробітку овочевих і просапних культур на великих площах із мінімальним тиском на ґрунт.



Рис.2.7 Автономна мостова платформа HORSCH RO G 500

Конструктивні особливості. Довжина прогінної частини рами становить 24 метри, що дозволяє обробляти значну кількість рядків за один прохід. Ходова частини колісна з використанням мотор-колів з незалежним управлінням; розташованих по краях ферми. Переміщення машини здійснюється автономно по RTK-GPS-траєкторії, з високою точністю контролю напрямку.

Конструкція передбачає центральний бункер для насіння об'ємом до 12 000 л, змінні посівні секції, систему дозування ЗЗР і добрив. Управління автономною мостовою машиною повністю автоматизоване з використанням принципів штучного інтелекту. Завдяки модульності конструкції відбувається швидка заміна знарядь з робочими органами.

Silsoe Arable Gantry (SAG) (рис. 2.8) це науково-дослідницька британська мостова машина, створена для експериментального вирощування овочів з повним усуненням контакту коліс із агротехнічною зоною [17]. Застосовується на дослідних і комерційних грядках.



Рис.2.8 Британська мостова машина Silsoe Arable Gantry (SAG)

Конструктивні особливості. Довжина прогонової частини становить 11 м, із прольотом над посівами до 0,6 м. Ходова частини колісна як і в попередніх варіантах використовуються мотор-колеса: Два ведучі керовані та два самонапрямних. Керовані колеса можуть розвертатися на 90° забезпечуючи пересування вздовж або впоперек поля. Машина керується оператором за допомогою інтелектуальної системи синхронізації руху обох плеч з ведучими колесами по напрямним доріжкам.

Завдяки модульності машина має навісну платформу, що дозволяє реалізувати агрегування з зрізними знаряддями для ґрунтообробки, посіву, догляду та збирання продукції рослинництва.

Ladybird Robot [18] інтелектуальна мобільна платформа для овочівництва (рис. 2.9), компактний автономний робот, розроблений Австралійським центром польової робототехніки для догляду за рядковими овочевими культурами (морква, салат, капуста).



Рис.2.9 Самохідна платформа по догляду за овочевими культурами
Ladybird Robot

Конструктивні особливості.

Довжина прогонової частини платформи варіюється від 3,5 до 5 метрів, залежно від конфігурації поля. Ходова частина платформи колісна. Чотири електропривідні колеса з незалежною підвіскою для кращої адаптації до рельєфу. Переміщення платформи повністю автономне з підтримкою комп'ютерного зору, LIDAR і GPS-навігації.

Ladybird має платформу з сонячними батареями. На ній можуть розміщуватись змінні інструменти для точкової обробки, бур'янознищення, поливу і моніторингу. Робот підтримує автоматичну зміну інструментів на полі.

Наступним об'єктом що привернув увагу являється робот для координатного обробітку овочевих культур під азвою AgBot II (рис. 2.10) також як і попередній варіант має походження з Австралії – це компактна автономна платформа, створена для селективного внесення ЗЗР, розпізнавання бур'янів та координатного точного догляду за овочами у відкритому ґрунті.

Конструктивними особливостями даної платформи є компактний корпус довжиною прогінної частини 3 м, що дозволяє працювати між грядками без їх ушкоджень. Ходова частина колісне шасі з м'яким зчепленням, що забезпечує мінімальний тиск на ґрунт. Автономне переміщення забезпечує блок керування

з підтримкою GPS з візуальним орієнтування завдяки машинному зору та штучного інтелекту з розпізнавання культурних рослин та бур'янів.



Рис.2.10. Автономна платформа по догляду за рослинами AgBot II

AgBot II виконує механічний обробіток ґрунту для розпушування його та з метою знищення бур'янів також при зміні знаряддя можна виконувати селективне обприскування бур'янів. Завдяки розробленому алгоритму керування робота машин може виконуватися групою (роєм), що підвищують продуктивність виконання технологічних операцій.

Проведений аналіз конструктивних рішень в розробці мостових машин захищених патентом дозволив виявити конструктивне рішення запропоноване науковцями ДДАЕУ. Так на кафедрі тракторів і сільськогосподарських машин запропоновано конструкцію агромоста (рис. 2.11) патент № UA 127654 [20] особливістю конструкції якого є те, що машина виконана, як одноконсольний одноопорний агроміст, що рухається по двом напрямним рейкам довжиною 2 м кожна. Тобто на одну рейку спирається ходова частина одного з плеч агромоста а інша рейка переставляється за допомогою маніпулятора на передні опорні стовпчики з надійною фіксацією їх. Після виконання операцій ферма поступово зміщується на встановлену рейку і за допомогою маніпулятора знову відбувається

перекладення рейки з якої зійшла ферма агромоста на перед на наступні опорні стовпчики.

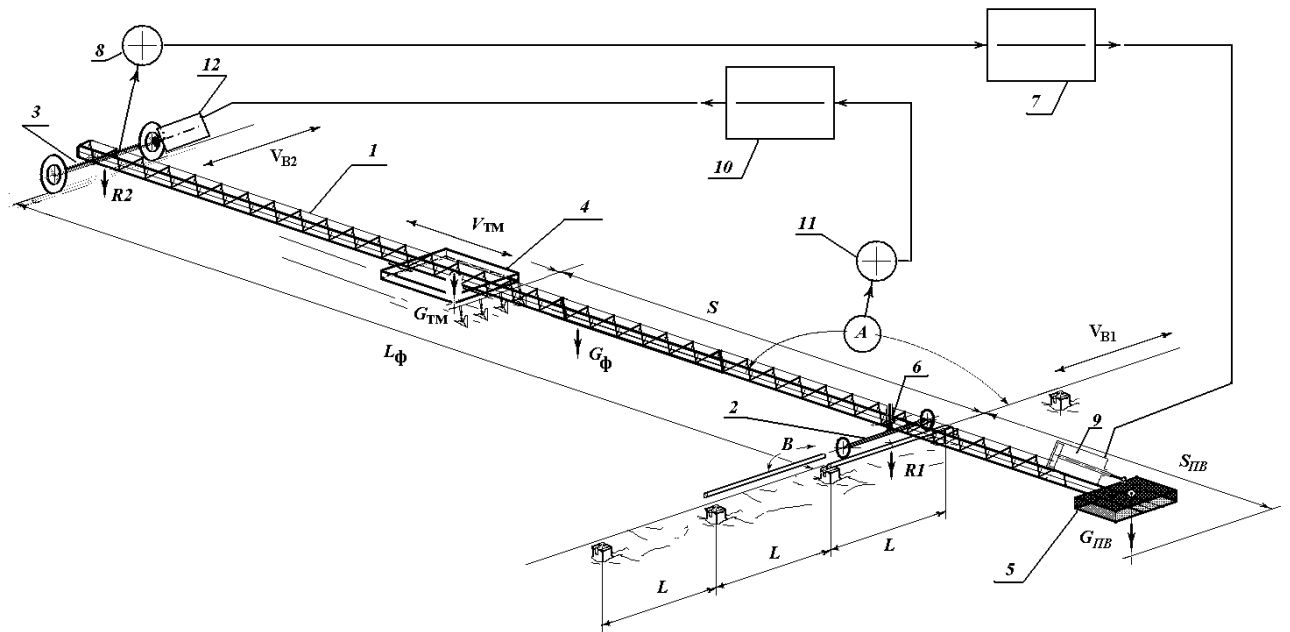


Рис.2.11 Агроміст патент України № 127654

Принцип роботи агромоста. Під час роботи основний 2 і підтримуючий візки 3 фіксуються, а технологічний модуль 4 рухається вздовж ферми 1, здійснюючи, наприклад, висів або догляд за культурами. Зміщення модуля викликає зміну навантаження на опори тому автоматичний пристрій із датчиком навантаження переміщує противагу 5 в протилежний бік, стабілізуючи положення ферми.

Під час переїзду між заїнками обидва візки 2 та 3 рухаються синхронно. В цей час автоматична система стабілізує напрям ферми в горизонтальній площині. Якщо підтримуючий візок відстає або випереджає – змінюється кут між віссю ферми і траєкторією руху. Система автоматично коригує швидкість підтримуючого візка, щоб зберігати паралельність руху.

До переваг можна віднести:

- високу точність розміщення робочих органів (глибина висіву, міжряддя, локалізація ЗЗР);
- врази зменшення витрат на направляючі;

- зниження ущільнення ґрунту, опори завжди знаходяться поза агрозоною;
- автоматична стабілізація положення ферми в обох площинах;
- можливість багатофункціонального використання одного шасі (заміна модулів);
- підвищення врожайності завдяки зменшенню механічного впливу на кореневу систему.

До недоліків можна віднести:

- складна конструкція з кількома автоматизованими блоками потребує високоточного налаштування.
- залежність від сенсорів і автоматики: у разі відмови системи стабілізації погіршення точності.
- необхідність рівного поля або точної геодезичної карти поля для забезпечення правильного монтажу колій.

2.4. Висновки

1. Аналіз показав, що мостові машини є перспективним технічним рішенням для точного овочівництва, оскільки дозволяють уникнути ущільнення ґрунту, зменшити кількість проходів техніки та підвищити ефективність агрооперацій. Технологія передбачає поділ поля на агротехнічні та технологічні зони, що покращує структуру ґрунту та коефіцієнт його використання.

2. Розглянуті приклади сучасних мостових систем (FarmBot, NEXAT, HORSCH, Ladybird, AgBot II) показали доцільність застосування модульних конструкцій, автономного керування, електроприводів і точного позиціонування. Позитивний досвід українських розробок, зокрема одноконсольного агромота, підтвердив конкурентоспроможність вітчизняних рішень.

3. На основі проведеного аналізу сформовано вимоги до конструкції та функціональності мостової машини для овочівництва, що ляжуть в основу подальших розрахунків і технічної реалізації.

Розділ 3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування конструктивної схеми агромоста

У сучасних умовах розвитку овочівництва, особливо в зоні інтенсивного землеробства, зростає потреба у високоточних та малоущільнюючих технологіях, що дозволяють ефективно здійснювати технологічні операції з мінімальним впливом на структуру ґрунту. Одним із перспективних напрямів механізації є використання мостових аграрних машин, здатних здійснювати адресну обробку посівів та мінімізувати проходження коліс по полю.

На основі проведеного аналізу технологічних та конструктивних особливостей мостових систем (розділ 2), розроблена власна конструктивна схема агромоста, яка базується на принципах інженерної простоти, функціональної гнучкості та технологічної сумісності з інноваційними рішеннями точного землеробства.

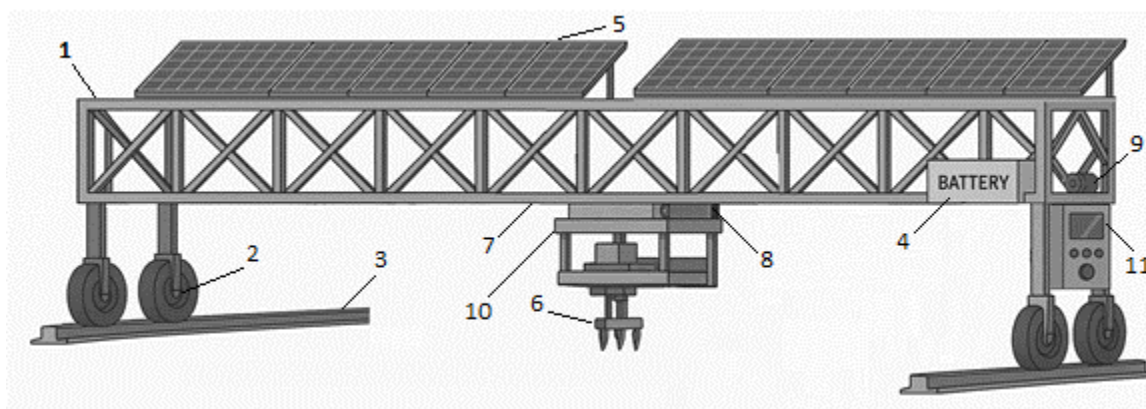


Рис.3.1. Конструктивна схема мостової машини

Основні елементи конструкції (рис.3.1) ферма-прогон 1 довжиною 18 метрів, виготовлена з профільних труб зі сталі, що забезпечують жорсткість та міцність конструкції при значному вильоті без проміжних опор. Ходова система

представлена чотирма електропривідними мотор-колесами 2, які переміщують машину по жорстко зафіксованим рейкам 3, розташованим по краях загінки. Завдяки механізму повороту колеса змінюють своє положення на 180 градусів, що забезпечує високу маневреність мостової машини. Енергетична складова машини реалізована з використанням альтернативних джерел, а саме сонячна енергія, що накопичується в акумуляторному блоці 4, який заряджається за допомогою сонячних панелей 5, змонтованих вздовж верхньої частини ферми 1. Робочі органи 6 (культиватор, сівалка, обприскувач тощо) переміщуються вздовж напрямних балок 7 ферми за допомогою каретки-модуля 8 від ланцюгового електропривода 9, обладнаної механізмом для агрегування 10. Керування мостовою машиною здійснюється за допомогою системи керування (рис. 3.2) розміщеної в шафі керування 11. На відміну від конструкції агромосту, представленого у патенті UA 127654C2, який орієнтований на широке універсальне застосування в різних сферах рослинництва і використовує складну систему з крокуючим рушієм з складною та габаритною системою баластування, розроблена конструктивна схема мостової машини забезпечує точне позиціонування в координатах технологічної ділянки (поля) та високу мобільність завдяки автономній системі накопичення електричної енергії. Так завдяки своїй універсальності енергетична система крім використання сонячної енергії може використовувати для накопичення електричну енергію від стаціонарних мереж за період міжзмінного часу.

В порівнянні з одноопорним агромостом [20] у розробленій конструкції акцент зроблено на використанні фіксованих напрямних рейок, що проходять по краях поля, по яких переміщується ферма за допомогою чотирьох мотор-колес із електроприводом. Така конфігурація забезпечує точність траєкторії без потреби в складних системах стабілізації, спрощує конструкцію, зменшує енергоспоживання та навантаження на ґрунт.

В розглянутих в попередньому розділі конструктивних рішень суттєвим недоліком є тип енергозабезпечення. В більшій їх частині переважно використовуються дизель-генератори або електромережі з живленням через

силові кабелі, що кардинально знижує мобільність та надійність мостових машин. Тому запропонована автономна система з використанням енергії сонця дозволяє забезпечити автономну роботу машини протягом усього світлового дня, що особливо важливо для овочевих культур, що потребують регулярних технологічних операцій (сівба, прополювання, полив, підживлення тощо).

Таким чином, розроблена конструкція мостової машини вигідно відрізняється від раніше розроблених чи запатентованих рішень з адаптацією саме до умов овочівництва, енергоефективністю, простою схемою керування та зменшеним впливом на ґрунт. Усе це робить її актуальним рішенням для впровадження в прогресивних аграрних господарствах на вирощуванні овочів де за невеликих площ отримують високі валові показники виробництва.

Переваги запропонованої конструкції

1. Повна електрифікація та автономність – дозволяє знизити експлуатаційні витрати та викиди CO₂, що важливо для органічного землеробства.
2. Проста геометрична орієнтація – використання рейкової системи унеможливорює відхилення ферми, як це відбувається у візкових системах з кутовою компенсацією.
3. Зниження маси за рахунок відмови від противаги та складних автоматичних систем – менше споживання енергії та навантаження на ґрунт.
4. Модульна конструкція – дозволяє адаптувати ферму під різні технологічні процеси.

Для забезпечення автономної, точної та енергоефективної роботи мостової машини у системі точного землеробства розроблено структурну схему керування виконавчими механізмами (рис. 3.2), які забезпечують переміщення і виконання технологічних операцій. Основними функціональними підсистемами є: привід ходової частини, привід каретки, а також привід механізму агрегування.

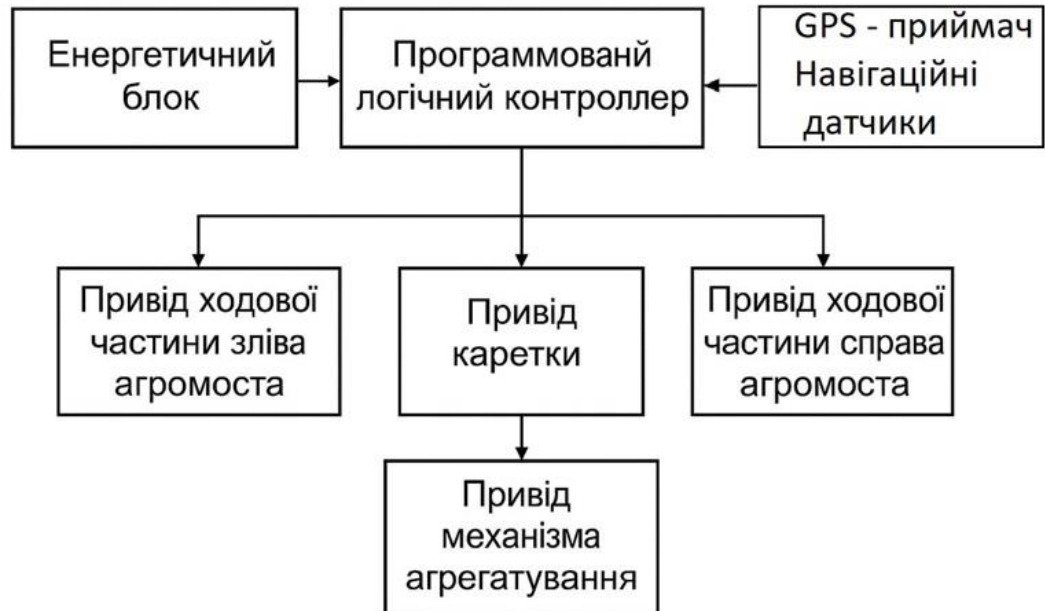


Рис. 3.2. Структурна схема системи керування мостовою машиною

Привід ходової частини агромоста

Ходова частина агромоста забезпечує його поперечне переміщення по рейковій основі на краях поля. Вона представлена двома незалежними приводами з електродвигунами постійного струму, які інтегровані в мотор-колеса (по два з кожного боку).

Керування здійснюється за допомогою:

- Програмованого логічного контролера (ПЛК), що отримує координати з GPS-модуля або лазерної навігаційної системи.
- Драйверів електродвигунів, що забезпечують зміну напрямку та швидкості обертання.
- Енкодерів, інтегрованих у мотор-колеса, для зворотного зв'язку щодо швидкості та положення.

Це дає змогу виконувати плавне переміщення ферми, зупинки в заданих позиціях та автоматичне коригування траєкторії при необхідності.

Привід каретки

Каретка виконує поздовжній рух вздовж балки прогону та забезпечує переміщення робочих органів (сівалка, культиватор, обприскувач тощо) у напрямку вздовж поля.

До складу приводу входять:

- Електродвигун з редуктором, встановлений на каретці.
- Ланцюгова або зубчаста передача з напрямними.
- Система зворотного зв'язку на базі енкодера або лінійного потенціометра.
- Кінцеві вимикачі (або індуктивні датчики) для виявлення крайніх положень каретки.

Управління приводом здійснюється з центрального контролера, що синхронізує рух з робочими циклами агрегатованого знаряддя, забезпечуючи рівномірне оброблення кожного сегмента ділянки.

Привід механізму агрегування

Цей механізм відповідає за підняття, опускання, або зміну положення навісного обладнання (знарядь), змонтованих на каретці.

Структурно він включає:

- Електрогідравлічний або електромеханічний привід (в залежності від маси знаряддя).
- Відповідні виконавчі механізми (наприклад, лінійні електроприводи або гідроциліндри).
- Сенсорні елементи контролю положення (візуальні або контактні датчики).
- Елементи керування та логіки, що задають моменти включення/виключення знаряддя згідно з координатами положення.

Керування: централізоване, від ПЛК, із можливістю ручного втручання через пульт дистанційного керування.

Загальна схема взаємодії систем

Усі виконавчі механізми координуються з єдиного обчислювального центру – мікропроцесорного блоку або ПЛК (рис.3.1), який:

- обробляє вхідні сигнали з GPS/RTK, енкодерів, датчиків положення;
- керує приводами через перетворювачі частоти, драйвери і реле;
- взаємодіє з інтерфейсом користувача (пульт, панель або віддалене керування).

Для підвищення точності позиціонування і адаптації до складних польових умов може бути додано:

- блок стабілізації напруги живлення;
- блок телеметрії для передачі даних на базову станцію;
- модуль самодіагностики з відображенням помилок.

Згідно розробленої конструктивної та структурної схем мостової машини проведемо розрахунки основних її складових скориставшись вихідними даними та напрацюваннями кафедри тракторів і сільськогосподарських машин приведеними в додатку А.

3.2. Розрахунок координатної транспортної системи

Для забезпечення ефективної роботи мостової машини в умовах овочівництва необхідно ретельно обґрунтувати геометричні параметри її координатної транспортної системи. Така система забезпечує переміщення робочих органів у двох площинах: уздовж поля (ось Y) та поперек поля (ось X), з мінімальним впливом на ґрунт і рослини.

Розміри поля та вибір системи координат

Для подальших розрахунків приймаємо, що господарство виділяє під овочі поле розміром 360 м × 600 м.

Загальна площа ділянки:

$$S_{\text{заг}} = B * L \quad (3.1)$$

де B – ширина поля, м, L – довжина поля, м.

$$S_{\text{заг}} = 360 * 600 = 216000 \text{ м}^2 = 21,6 \text{ га}$$

Довша сторона обрана як напрям руху мостової машини. Поділ поля здійснюється на інженерні та агротехнічні зони:

- Інженерна зона (F_i) – зона для розміщення напрямних рейок (колій), що забезпечують переміщення всієї ферми.
- Агротехнічна зона (F_a) – робоча довжина мостової машини, в межах якої переміщується каретка з навісним обладнанням.

Розрахунок довжини мостової машини (F_a)

Згідно з рекомендаціями з джерел, оптимальна довжина прольоту мостової ферми для роботи в овочівництві становить 17–24 метри, оскільки така ширина забезпечує:

- покриття значної площі за один прохід каретки;
- можливість розміщення широкого спектру навісних знарядь;
- збереження стійкості та жорсткості при навантаженні.

Визначимо кількість загінок:

$$N = \frac{B}{F_a} = \frac{360}{17} = 21 \text{ заг.} \quad (3.2)$$

Визначимо площу агротехнічної зони:

$$S_a = F_a * N * L \quad (3.3)$$

$$S_a = F_a * N * L = 17 * 21 * 600 = 214200 \text{ м}^2 = 21,42 \text{ га}$$

Коефіцієнт землевикористання:

$$K_z = \frac{S_a}{S_{\text{заг}}} = \frac{21,42}{21,6} = 0,9917 \quad (3.4)$$

Результати розрахунку коефіцієнту для різних варіантів довжини мостової машини приведено в табл 3.1

Таблиця 3.1 – Результати розрахунку коефіцієнта землевикористання

Довжина ферми F_a , м	Кількість загінок N , кіл.	Площу агротехнічної зони S_a , га	Коефіцієнт землекористування K_z
17	21	21,42	0,9917
18	20	21,6	1
19	18	20,52	0.95
20	18	21,6	1
21	17	21,42	0.9917
22	16	21,12	0.9778
23	15	20,7	0.9583
24	15	21,6	1.0000

Враховавши отримані значення коефіцієнта землевикористання та кількість загінок для різних варіантів довжини агромота обираємо найліпше її значення приймаємо $F_a = 18$ м.

Розрахунок напрямних колій .

Довжина поля становить 600 м – саме на цю відстань здійснюється переміщення мостової машини вздовж загінки по напрямним коліям. Виконавши операції на одній загінці мостова машина (агроміст) переїжджає на наступні загінки облаштовані коліями.

Кількість колій визначимо використавши дані табл. 3.1 та формулу:

$$N_{\text{кол}} = N + 1 = 20 + 1 = 21 \text{ колія} \quad (3.5)$$

Де N – кількість загінок, шт.

Визначення втрати площ під опорні колії:

Приймаємо що ширина кожної опорної колії складає $w_{\text{опор}} = 0,5$ м (лівий і правий бік кожної прольотної секції), тоді площа під опорні колії становитиме:

$$S_{\text{опор}} = L * w_{\text{опор}} * N_{\text{кол}} \quad (3.6)$$

$$S_{\text{опор}} = 600 * 0,5 * 21 = 6300 \text{ м}^2 = 0,63 \text{ га}$$

Визначення втрати площ під технологічні доріжки:

Для розрахунку втрат площі під технологічні доріжки приймаємо ширину доріжки $w_{\text{тех}} = 1$ м тоді втрати площі складатимуть:

$$S_{\text{тех}} = B * w_{\text{тех}} = 360 * 1 = 360 \text{ м}^2 = 0,036 \text{ га} \quad (3.7)$$

де $w_{\text{тех}}$ – ширина технологічної доріжки, м;

Визначимо фактичну площу агротехнічної зони з урахуванням втрат площі за формулою:

$$S_{\text{факт}} = (F_a * N * L) - (S_{\text{опор}} + S_{\text{тех}}) \quad (3.8)$$

$$S_{\text{факт}} = (18 * 20 * 600) - (6300 + 360) = 209340 \text{ м}^2 = 20,934 \text{ га}$$

Визначення фактичного значення коефіцієнта землевикористання:

$$K_z = \frac{S_{\text{факт}}}{S_{\text{заг}}} = \frac{20,934}{21,6} = 0,9691 \quad (3.9)$$

Отже обираємо для координатно-транспортної системи обираємо *H*-подібну систему координат, у якій:

- ферма рухається по коліям у поперечному напрямку (X);
- каретка рухається по самій фермі у поперечному напрямку загінки (Y).

Це забезпечує двовимірне покриття всієї площі поля без потреби в розворотах або складних маневрах.

3.3. Розрахунок мостової машини

Перед початком розрахунку мостової машини приймемо умови та вихідні дані (додаток А), які необхідно врахувати:

- Колійна основа (Fi) виготовляється з жорстких напрямних балок, встановлених наземно або на низьких опорах.
- Ферма повинна мати легку, але жорстку конструкцію, яка витримує вагу обладнання та не втрачає геометрії при дії вітрового навантаження.
- Каретка обладнується електроприводом з контролем позиціонування, що забезпечує точність обробітку до ± 1 см.

І розпочнемо розрахунок мостової машини з перевірки її на міцність з урахуванням конструктивних особливостей її конструкції.

3.3.1 Розрахунок на міцність ферми мостової машини

Вибір параметрів ферми мостової машини базується на умовах експлуатації у відкритому полі, врахуванні реальних навантажень і потребі забезпечити достатній запас міцності для надійної роботи впродовж усього життєвого циклу.

Вибір поперечного перерізу ферми

Враховуючи конструктивну вимогу, що ферма в поперечному перерізі має форму квадрата, для її виконання вибрано сталю квадратну трубу розміром 50×50 мм зі стінкою 5 мм. Такий профіль є поширеним у несучих конструкціях завдяки високому моменту інерції та хорошій здатності до сприйняття згинальних і крутильних навантажень при відносно невеликій масі.

Визначення загальної маси мостової машини

Сумарна маса, яка припадає на ферму, складається з кількох основних компонентів. Перш за все, це власна маса самої ферми, яка згідно з попередньо проведеними розрахунками при сталевій конструкції довжиною 18 м становить орієнтовно $m_{\text{ферми}} = 1568$ кг. Додатково враховується маса каретки, що переміщується вздовж ферми, яка включає у себе електропривод, направляючі, редуктори, датчики переміщення та елементи управління, її прийнято на рівні $m_{\text{каретки}} = 70$ кг.

Також враховано:

Маса навісного знаряддя (культиватор, сівалка та інші) $m_{\text{органів}} = 150$ кг;

Акумулятори – $m_{\text{акумуляторів}} = 260$ кг;

Сонячні панелі – $m_{\text{панелей}} = 216$ кг;

Мотор-коліс – $m_{\text{мотоколіс}} = 140$ кг;

Рама ходової частини – $m_{\text{рами}} = 250$ кг.

Нарешті, передбачається додаткове технологічне обладнання - освітлення, дроти, кріплення, засоби комунікації та запас міцності – це ще близько 100 кг.

Таким чином, повна маса мостової машини складе :

$$m_{\text{сум}} = m_{\text{ферми}} + m_{\text{каретки}} + m_{\text{органів}} + m_{\text{акумуляторів}} + m_{\text{панелей}} + m_{\text{моторколіс}} + m_{\text{рами}} \quad (3.10)$$

$$m_{\text{сум}} = 1568 + 70 + 150 + 260 + 216 + 140 + 250 + 100 = 2754 \text{ кг}$$

Визначення діючої сили

Оскільки всі розрахунки міцності виконуються у СІ, маса переводиться у силу, що діє на ферму, за допомогою стандартного рівняння:

$$F = m * g \quad (3.11)$$

де $g=9,81 \text{ м/с}^2$ – прискорення вільного падіння.

m – маса що приходить на ферму мостової машини, кг;

$$m = m_{\text{каретки}} + m_{\text{органів}} + m_{\text{акамляторів}} + m_{\text{панелей}} + m_{\text{фери}}, \text{ кг}$$

$$m = 70 + 150 + 260 + 216 + 1568 = 2265 \text{ кг}$$

Тоді:

$$F = 2265 * 9,81 = 19918,38 \text{ Н}$$

Ця сила розподілена рівномірно по всій довжині ферми, адже як каретка, так і знаряддя переміщуються по всій площині прогонової частини. Тобто тиск на ферму є рівномірно розподіленим навантаженням, що дає можливість застосувати класичну балочну модель для інженерного розрахунку згину.

Визначення рівномірного навантаження

Рівномірне навантаження q обчислюється шляхом ділення загальної сили на довжину ферми:

$$q = \frac{F}{Fa} \quad (3.12)$$

$$q = \frac{19918,38}{18} = 1106.58 \text{ Н/м}$$

Це навантаження у вигляді тиску на одиницю довжини є вхідним параметром для подальшого визначення максимального згинального моменту, що виникає у середині ферми.

Визначення максимального згинального моменту

Для балки з рівномірно розподіленим навантаженням, за класичною схемою підтримки на двох опорах, максимальний згинальний момент розраховується за формулою:

$$M_{max} = \frac{q \cdot F_a}{8} \quad (3.13)$$

$$M_{max} = \frac{1106.58 \cdot 18^2}{8} = \frac{1106.58 \cdot 324}{8} = 44796.4 \text{ Н/м}$$

Це максимальний момент, який виникає посередині прогону – тобто в найслабшому місці конструкції з погляду опору згину.

Момент інерції профілю

Момент інерції такого квадратного профілю розраховується за формулою:

$$I = \frac{a^4 - (a - 2t)^4}{12} \quad (3.14)$$

де $a = 0,05 \text{ м}$ – зовнішня сторона труби,

$t = 0,005 \text{ м}$ – товщина стінки.

$$I = \frac{(0,05)^4 - (0,5 - 2 \cdot 0,005)^4}{12} \approx 1,75 \cdot 10^{-7} \text{ м}^4$$

Визначення максимальних згинальних напружень

Максимальні напруження у матеріалі ферми визначаються за класичною формулою згину:

$$\sigma = \frac{M_{max} * y}{I} \quad (3.15)$$

де y – відстань до нейтральної осі $y = \frac{h}{2} = 0,05$ м;

$$\sigma = \frac{44796,4 * 0,025}{1,75 * 10^{-7}} = 63920237,57 \text{ Па} = 63,9 \text{ МПа}$$

Перевірка міцності

Для перевірки допустимості отриманого значення напруг порівнюємо його з межею текучості сталі. Для конструкційної сталі типу Ст3 допустиме значення межі текучості становить близько 240 МПа. Таким чином, запас міцності:

$$k = \frac{\sigma_{доп}}{\sigma} = \frac{240}{63,9} \approx 3,75 \quad (3.16)$$

Обрана квадратна профільна труба $50 \times 50 \times 5$ мм для ферми мостової машини забезпечує високу міцність та має запас безпеки майже в 4 рази, що є цілком прийнятним для експлуатації навіть у складних умовах.

Цей запас є прийнятним для ферми, яка працює у польових умовах і повинна витримувати динамічні навантаження без втоми матеріалу.

3.3.2 Розрахунок енергетичної частини агромоста

Розрахунок потужності на переміщення агромоста по коліям.

На відміну від традиційних самохідних шасі, у нашому випадку опорна конструкція агромоста рухається по сталевим напрямним рейкам, що значно знижує опір коченню 0,01.

Сила тертя кочення:

$$F_{\text{тертя}} = \mu * m * g \quad (3.17)$$

де μ – коефіцієнт тертя сталі по сталі, $\mu = 0,01$;

$$F_{\text{тертя}} = 0,01 * 2265 * 9,81 = 222 \text{ Н}$$

Потужність для подолання сили тертя:

$$P_{\text{тертя}} = F * v \quad (3.18)$$

де v – швидкість агромоста, $v = 1,11$ м/с.

$$P_{\text{тертя}} = 222 * 1,11 = 246,4 \text{ Вт} = 0,246 \text{ кВт}$$

Тягова потужність:

$$P_{\text{тяг}} = F_{\text{тяг}} * v \quad (3.20)$$

де $F_{\text{тяг}}$ - тяговий опір на каретку, $F_{\text{тяг}} = 2000 \text{ Н}$.

$$P_{\text{тяг}} = 2000 * 1,11 = 2220 \text{ Вт} = 2,22 \text{ кВт}$$

Загальна споживана потужність:

$$P_{\text{загальна}} = P_{\text{тертя}} + P_{\text{тяг}} + P_{\text{елект}} + P_{\text{запас}} \quad (3.21)$$

де $P_{\text{елект}}$ – споживання системи керування та навігації, $P_{\text{елект}} = 0,5 \text{ кВт}$;

$P_{\text{запас}}$ – запас на пікові навантаження, $P_{\text{запас}} = 1$ кВт.

$$P_{\text{загальна}} = 0,2464 + 2,22 + 0,5 + 1 = 3,9664 \text{ кВт}$$

Споживання енергії за 10 годин роботи:

$$E = P_{\text{загальна}} * t \quad (3.22)$$

де t – тривалість зміни, $t = 10$ годин,

$$E = 3,9664 * 10 = 39,664 \text{ кВт * год}$$

Резерв і втрати:

$$E_{\text{акум}} = E * k \quad (3.23)$$

де k – коефіцієнт запасу, $k = 1,2$.

$$E_{\text{акум}} = 39,664 * 1,2 = 47,5968 \text{ кВт}$$

Беремо три акумуляторні батареї LiFePO4 кожна з них 16 кВт * год в сумі 48 кВт * год.

Підбір сонячних панелей:

Підчас роботи в день енергія для зарядки батарей йде від сонячних панелей тому необхідна потужність:

$$P_{\text{панелі}} \geq P_{\text{загальна}} \quad (3.24)$$

$$P_{\text{панелі}} \geq 3,9664 \text{ кВт}$$

Тоді фактично необхідну потужність з урахуванням хмарності та втрат визначимо за формулою:

$$P_{\text{фак.}} = P_{\text{панелі}} * k \quad (3.25)$$

$$P_{\text{фак.}} = 3,9664 * 1,2 = 4,75968 \text{ кВт}$$

Для наших задач приймаємо сонячні панелі Longi LR5-72HBD-555M, одна панель якої видає 555 Вт.

Визначаємо кількість панелей:

$$N = \frac{P_{\text{фак.}}}{P_{\text{од.}}} \quad (3.26)$$

де $P_{\text{од.}}$ – потужність однієї панелі, $P_{\text{од.}} = 555$ Вт.

$$N_{\text{пан.}} = \frac{4759,68}{555} = 8,576 \approx 9 \text{ панелей}$$

Загальна площа панелей:

$$S_{\text{з.п.}} = N_{\text{пан.}} * S_{\text{п}} \quad (3.27)$$

де $S_{\text{п}}$ – площа однієї панелі, $S_{\text{п}} = 2 \text{ м}^2$.

$$S_{\text{з.п.}} = 9 * 2 = 18 \text{ м}^2$$

3.3.3 Розрахунок продуктивності агромоста

Продуктивність агромоста визначається, як обсяг обробленої площі за одиницю часу і залежить від:

- Ширини захвату
- Швидкості руху каретки та переміщення агромоста
- Кількості циклів каретки
- Тривалості технологічного циклу на зупинці

Розрахунки виконаємо при агрегуванні мостової машини з культиватором чи посівною машиною з шириною захвату $b=1,4$ м.

Кількість проходів у межах однієї заїмки:

$$n = \frac{L}{b} = \frac{600}{1,4} = 428,57 \approx 429 \text{ шт.} \quad (3.28)$$

де b – ширина захвату знаряддя, $b=1.4$ м.

Час на один прохід:

$$t_{\text{прохід}} = \frac{F_a}{v_{\text{кар}}} + t_{\text{під.}} + t_{\text{опуск.}} \quad (3.29)$$

де $v_{\text{кар}}$ – швидкість переміщення каретки з знаряддям, $v_{\text{кар}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$;

$t_{\text{під.}}$ – час на підняття і опускання знаряддя праці, $t_{\text{під.}} = t_{\text{опуск.}} = 5$ с.

$$t_{\text{прохід}} = \frac{18}{2} + 5 + 5 = 19 \text{ с}$$

Загальний час на обробку однієї загінки:

$$t_{\text{загінки}} = n * (t_{\text{прохід}} + t_{\text{перем.}}) \quad (3.30)$$

де $t_{\text{перем.}}$ – час на переміщення агромоста, $t_{\text{перем.}} = 5$ с.

$$t_{\text{загінки}} = 429 * (19 + 5) = 10296 \text{ с} = 2 \text{ год } 51 \text{ хв}$$

Площа однієї загінки:

$$S_{\text{заг}} = L * F_a = 600 * 18 = 10800 \text{ м}^2 = 1,08 \text{ га} \quad (3.31)$$

Тоді продуктивність машини на виконання культивуації або посіву визначимо за формулою:

$$W = \frac{S_{\text{заг}}}{t_{\text{загінки}}} = \frac{10800}{10296} = 1,04 \frac{\text{м}^2}{\text{с}} = 0,3776 \text{ га/год} \quad (3.32)$$

Загальний час на виконання операції на всій ділянці поля визначимо за формулою:

$$t_{\text{загал.}} = S_{\text{заг}} * N = 10800 * 20 = 216000 \text{ с} = 60 \text{ год} \quad (3.33)$$

Визначимо період виконання технологічної операції врахувавши тривалість зміни та загальний час на виконання операції за формулою:

$$t_{\text{прод.}} = \frac{t_{\text{загал.}}}{10} = \frac{60}{10} = 6 \text{ днів} \quad (3.34)$$

Згідно виконаних розрахунків параметрів приводів та енергетичної системи стандартні складові наведено в додатку Б.

3.4. Висновок

1. На основі аналізу світових аналогів та наявних патентних рішень було обґрунтовано власну конструктивну схему мостової машини, яка відрізняється спрощеною, але стійкою конструкцією з сталеві прогонової ферми квадратного поперечного перерізу. Ферма спирається на чотири мотор-колеса, які переміщуються по рейкових напрямних, закладених по краях поля. Такий принцип дозволяє уникнути ущільнення ґрунту, зберігаючи структуру родючого шару.

2. Проведено розрахунок координатної транспортної системи, що передбачає використання Н-подібної кінематики: переміщення ферми здійснюється по осі Y (уздовж поля), а каретки з навісними знаряддями по осі X (поперек поля). Оптимальне агротехнічне рішення ферма шириною 18 метрів забезпечує коефіцієнт землекористування на рівні 1,0 та дозволяє ефективно охоплювати загінки розміром до 1,08 га без зайвих проходів і втрат площі.

У розділі було виконано розрахунок міцності несучої ферми, яка виготовляється зі сталеві труби 50×50×5 мм. Розрахунок згинального моменту, моменту інерції та напружень показав, що обрана ферма працює з коефіцієнтом запасу міцності понад 3,7, що гарантує надійну експлуатацію навіть при динамічних навантаженнях.

Енергетична система мостової машини побудована на електроприводах, які живляться від трьох акумуляторних батарей загальною ємністю 48 кВт·год. Заряджання здійснюється через сонячні панелі загальною потужністю понад 4,7 кВт, встановлені на верхній частині ферми.

Розрахункова продуктивність машини становить 0,37 га/год, що є прийнятним показником для точного обробітку овочевих культур на середніх за розміром фермерських ділянках. Обробка всієї ділянки площею понад 21 га виконується приблизно за 6 змін.

Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Вимоги до безпеки при роботі з мостовими машинами

Для забезпечення безпечної експлуатації мостової аграрної машини в умовах овочівництва необхідно дотримуватись комплексу організаційних, технічних та експлуатаційних заходів з охорони праці. Мостова машина є електрифікованою високоточною установкою, що працює в полі в безпосередній близькості до людей та оброблюваних рослин, тому всі етапи її використання повинні проходити відповідно до чинних вимог безпеки праці у сільському господарстві та електротехнічних установках (рис. 4.1).



Рис. 4.1 Вимоги роботи з мостовою машиною

Перед початком роботи працівники, допущені до обслуговування мостової машини, мають пройти обов'язковий вступний інструктаж з охорони праці, первинний інструктаж на робочому місці, а також періодичне навчання з перевіркою знань правил техніки безпеки. Оператор машини повинен мати

відповідну кваліфікацію, знати порядок запуску, керування, екстреної зупинки машини, а також правила поведінки при виявленні несправностей. Особи, які не мають допуску до роботи з електрообладнанням або не пройшли інструктаж, до обслуговування мостової машини не допускаються.

Безпосередньо перед початком роботи здійснюється технічний огляд машини, перевіряється рівень заряду акумуляторних батарей, цілісність сонячних панелей, надійність з'єднань у силовій частині та відсутність зовнішніх пошкоджень. Необхідно переконатись у справності аварійної кнопки зупинки, сигналізації, блокування та датчиків положення. Пуск машини дозволено тільки після перевірки справності всіх електричних та механічних елементів. Оператор має переконатися, що у зоні переміщення ферми та каретки немає сторонніх осіб або перешкод. Під час роботи машини на ділянці заборонено перебування необізнаного персоналу.

Живлення машини здійснюється від електричних акумуляторних батарей, тому під час заряджання категорично забороняється виконувати будь-які дії з електропроводкою, а також перебувати поруч із незахищеними контактами без засобів індивідуального захисту. Заборонено проводити обслуговування машини без попереднього повного відключення живлення. Елементи системи керування та живлення повинні бути захищені від потрапляння вологи, пилу та атмосферних опадів.

Ходова частина мостової машини переміщується по фіксованих рейках на краях поля. Зважаючи на високу масу машини, будь-яке втручання у систему ходового приводу під час руху заборонене. Всі роботи, пов'язані з обслуговуванням рейкової частини, проводяться лише у повністю знеструмленому стані. Під час переміщення машини на наступну загінку вмикається світлова або звукова сигналізація, яка попереджає про початок руху. Аналогічна сигналізація активується й при роботі каретки з навісним обладнанням, що забезпечує попередження персоналу про потенційну зону небезпеки.

В процесі роботи оператор не має права залишати робоче місце або відволікатись від контролю за машиною. У випадку виявлення несправностей в роботі приводу, механізму агрегування або системи навігації, машина повинна бути негайно зупинена, знеструмлена, а причина поломки – усунута кваліфікованим спеціалістом.

Особливу увагу слід приділити збереженню безпеки при роботі з навісними знаряддями. Під час опускання або підйому культиватора, сівалки чи іншого обладнання заборонено перебувати в зоні дії каретки. Регламентні налаштування глибини, кута нахилу або висоти розміщення знаряддя дозволено виконувати лише у відключеному стані та після встановлення механічних упорів або фіксаторів.

Після завершення роботи здійснюється зупинка машини у крайній точці поля або у відведеній для цього зоні, виконується повна знеструмлена фіксація та технічне обстеження. Машина очищується від бруду, перевіряється стан елементів кріплення, системи позиціонування, проводиться попередня підготовка до зарядки акумуляторів. Всі дії фіксуються у спеціальному журналі технічного обслуговування.

Загалом, дотримання заходів безпеки при експлуатації мостової машини дозволяє знизити ризики виробничого травматизму, забезпечити безперебійну роботу техніки та створити умови для сталого розвитку овочівництва із застосуванням сучасних технологій точного землеробства.

4.2. Аналіз ризиків та заходи з охорони праці

У процесі експлуатації мостової агромашини існує низка потенційних небезпек, пов'язаних із специфікою конструкції, характером робіт, енергетичним забезпеченням, а також умовами навколишнього середовища. Враховуючи, що машина функціонує на відкритій території, переміщується по сталевих рейках та здійснює переміщення каретки з навісними знаряддями, ризики мають як техногенний, так і організаційно-трудоий характер. Відтак,

необхідним є комплексний аналіз ймовірних загроз, їх класифікація за рівнем небезпеки та розробка ефективних превентивних заходів, спрямованих на мінімізацію ризиків (рис. 4.2).



Рис. 4.2 Ризики при експлуатації мостової машини

Одним із найпоширеніших джерел небезпеки є рухома ходова частина мостової машини, яка приводиться в дію електродвигунами та рухається з певною інерцією по направляючих рейках. У випадках втрати контролю, помилки оператора або збою в системі керування можливе зіткнення з об'єктами або травмування персоналу, який випадково перебуватиме в зоні руху. Для уникнення таких ситуацій необхідно обладнати машину системами світлової та звукової сигналізації, встановити межі доступу до зони переміщення, а також забезпечити автоматичне аварійне зупинення при наближенні до перешкоди або порушенні геометрії рейок.

Не менш небезпечною є робота каретки з навісними агрегатами. В процесі обробітку ґрунту (наприклад, під час культивації чи сівби) виникає ризик несанкціонованого опускання чи переміщення обладнання. При цьому важливим є запровадження електронного контролю положення каретки, обмеження на

ручні втручання під час роботи та використання фіксаторів положення при технічному обслуговуванні. Особливу увагу слід приділити ситуаціям, коли оператор виконує налаштування навісного знаряддя – ці роботи повинні проводитися лише після повного знеструмлення системи.

Окрему групу становлять електротехнічні ризики, пов'язані з роботою силової частини машини, сонячними панелями, системою живлення від акумуляторів та мережі. Можливе ураження електричним струмом у випадку порушення ізоляції, неправильного підключення чи короткого замикання. З метою запобігання цьому вся електроустановка повинна бути захищена, промаркована, мати надійне заземлення та аварійне відключення. Всі електричні з'єднання повинні бути виконані у водозахищених роз'ємах, а технічне обслуговування має проводитися виключно спеціалістами з відповідною кваліфікацією.

Серйозну загрозу становить також вплив кліматичних умов. Робота мостової машини під час дощу, сильного вітру або обмерзання підвищує ризики механічних пошкоджень, порушення електропостачання та нещасних випадків. З метою зниження цих ризиків необхідно обмежити роботу машини у несприятливих погодних умовах, встановити автоматичні датчики контролю вологості, температури та швидкості вітру, що блокуватимуть запуск системи при перевищенні критичних значень.

Аналіз статистичних даних із сільськогосподарського виробництва свідчить, що однією з основних причин травматизму є порушення трудової дисципліни та нехтування інструкціями з техніки безпеки. З цієї причини важливо організувати постійне навчання персоналу, регулярні інструктажі та тестування на знання правил експлуатації мостової машини, а також передбачити на підприємстві спеціальні візуальні інформатори й нагадування про правила безпечної поведінки.

На завершення слід відзначити, що забезпечення високого рівня охорони праці в процесі експлуатації мостової машини можливе лише за умови системного підходу до ідентифікації потенційних загроз, своєчасної

профілактики аварійних ситуацій, застосування сучасних захисних технологій та належного рівня професійної підготовки обслуговуючого персоналу.

4.3. Екологічні аспекти застосування мостової машини

Одним із ключових завдань сучасного сільського господарства є не лише підвищення продуктивності, а й зменшення негативного впливу агротехніки на довкілля. У цьому контексті мостова машина, сконструйована на основі рейкової ходової системи з електричним приводом та автономним живленням, відкриває нові перспективи екологічно орієнтованого землеробства (рис. 4.3).

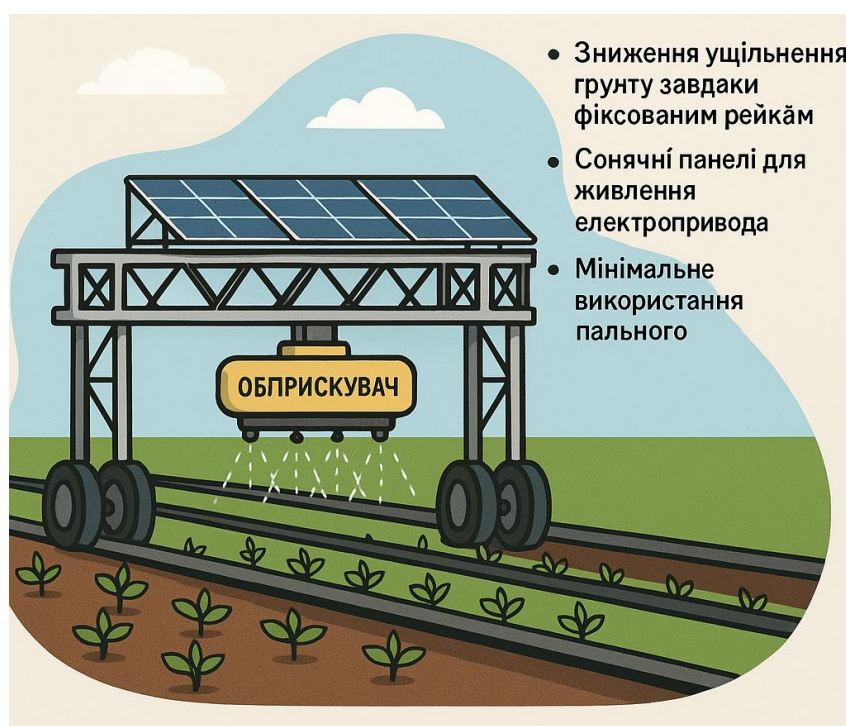


Рис. 4.3 Екологічні аспекти

Насамперед, конструктивною перевагою мостової машини є її здатність повністю виключити переміщення по ґрунту поза технологічними доріжками. В традиційних умовах сільськогосподарська техніка у процесі обробки ґрунту проходить по полю десятки разів, спричиняючи сильне ущільнення ґрунтових шарів, зниження аерації, зменшення водопроникності, порушення мікробіологічного балансу. Застосування агромосту, що пересувається

виключно по рейках, дозволяє повністю уникнути переущільнення орного шару, що позитивно позначається на структурі ґрунту, сприяє збереженню капілярної вологи й покращенню умов росту кореневої системи рослин. Таким чином, зменшується потреба в додатковому розпушуванні та відновленні ущільнених ділянок, що додатково знижує енерговитрати і навантаження на довкілля.

Другим важливим аспектом є використання екологічно чистого джерела енергії – сонячних панелей. Система живлення мостової машини побудована на основі фотомодулів високої продуктивності, які забезпечують заряджання акумуляторних батарей у світлий час доби. Це дозволяє значно скоротити використання викопного палива, зменшити викиди парникових газів (CO_2 , NO_x , CH_4), а також знизити рівень шуму на полі порівняно з дизельними тракторами. У нічний час для підзарядки акумуляторів використовується локальне електропостачання, що може надходити як від традиційної мережі, так і від відновлюваних джерел, встановлених на базі господарства (наприклад, вітротурбін або біогазових установок).

Крім того, за рахунок точного позиціонування каретки з навісними знаряддями та застосування високоточних систем керування агроміст дозволяє мінімізувати витрати ресурсів – добрив, засобів захисту рослин, насіння. Зниження надлишкових внесень агрохімікатів призводить до зменшення їхнього накопичення в ґрунті та запобігає потраплянню шкідливих речовин у ґрунтові води. Точність обробітку зменшує ризик забруднення прилеглих територій, сприяє збереженню біорізноманіття та знижує рівень хімічного навантаження на екосистему.

Особливу увагу також заслуговує подовження строку експлуатації ґрунтового шару без деградації. Завдяки обмеженню механічного впливу та зменшенню інтенсивності обробітку, місткова система сприяє формуванню стабільного родючого горизонту, зниженню ерозійних процесів та підвищенню загальної екологічної стійкості агроландшафтів. Використання таких технологій наближає виробництво до принципів сталого сільського господарства,

відповідаючи критеріям «зеленої» економіки та кліматично нейтрального розвитку.

Таким чином, застосування мостової машини у польових умовах забезпечує комплексний екологічний ефект: зменшення ущільнення ґрунту, зниження викидів, мінімізацію хімічного навантаження, ефективно використання енергії, та збереження родючості ґрунтів на тривалий період. Все це робить подібні системи перспективним напрямом у контексті впровадження інновацій у сучасне землеробство.

4.4. Висновки

У результаті виконання розділу було всебічно проаналізовано питання безпеки праці та екологічної доцільності впровадження мостової машини в овочівництві. Встановлено, що при проектуванні подібних технологічних систем необхідно приділяти особливу увагу безпеці обслуговуючого персоналу, потенційним виробничим ризикам, а також впливу агромашини на навколишнє середовище.

Запропоновано інструкцію з охорони праці, яка враховує специфіку конструкції та експлуатації мостового агрегату, зокрема роботу на висоті, переміщення по напрямних рейках, використання електроприводів, а також необхідність регулярного технічного обслуговування. Особливу увагу приділено ризикам, пов'язаним із електробезпекою, стабільністю конструкції, механізмами агрегування та рухомими частинами машини.

Таким чином, розглянута агротехнічна система є прикладом гармонійного поєднання інженерної ефективності, безпечної експлуатації та екологічної відповідальності. Упровадження таких рішень у практику дозволить не лише підвищити продуктивність праці, а й забезпечити довгострокове збереження агроecosystem для майбутніх поколінь.

Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

Впровадження мостової технології у землеробстві сприяє підвищенню економічної ефективності господарювання, зокрема завдяки зменшенню ущільнення ґрунту від ходової системи та скороченню витрат на експлуатаційні ресурси, такі як паливо й мастильні матеріали. Це стало можливим завдяки застосуванню електричного приводу, який є більш енергоощадним.

Для обґрунтування економічної доцільності реалізації проекту було проведено відповідні розрахунки з використанням загальноприйнятих методик, що базуються на порівнянні витрат під час виконання основного обробітку ґрунту для овочевих культур. У якості базового варіанта обрано традиційний трактор ДТЗ-5404 з плугом ПЛ-2-25, а для проектного – мостова машина, оснащена активним копачем АК-1. Початкові параметри для виконання аналізу наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показники	Базовий	Проектний
Завантаженість агрегату за рік на виконанні основного обробітку, га	20,934	20,934
Енергетичні машини та знаряддя	ДТЗ-5404+ ПЛ-2-25	Мостова машина+ АК-1
Вартість машини, грн	467000	820000
Вартість знаряддя, грн	40000	45700
Всього:	507000	865700
Технологічна операція	Основний обробіток ґрунту	Основний обробіток ґрунту
Продуктивність агрегату, га/год	0,17	0,37
Витрати на електроенергію, кВт/га	-	16,64
Вартість палива, грн/кг	50	-
Витрати на паливно-мастильні матеріали, кг/га	14,8	-

Продовження табл. 5.1

Приріст врожайності, кг/га	-	3000
Вартість електроенергії	-	5
Кількість працівників обслуговуючих агрегат, люд	1	1
Прибуток від приросту врожайності, грн	-	450890
Тривалість зміни, год	10	10

Розрахунки виконуємо за прийнятими методиками [] з врахуванням даних наведених в таблиці 5.1.

Продуктивність агрегатів:

Базовий

$$W_{зм}^б = W_a \cdot T_{змін} \quad 0,17 \cdot 10 = 1,7 \text{ га/зм}$$

Проект

$$W_{зм}^п = W_a \cdot T_{змін} \quad 0,37 \cdot 10 = 3,7 \text{ га/зм}$$

де W_a – продуктивність агрегату на виконанні ґрунтообробки, га/год;

$T_{змін}$ – тривалість зміни, год.

Розрахунок часу на виконання технологічної операції:

$$B = \frac{m \cdot T_{зм}}{W_{зм}}, \frac{\text{люд} - \text{год}}{\text{га}} \quad (5.1)$$

де m – кількість працівників обслуговуючих агрегат, чол;

$$B^B = \frac{1 \cdot 10}{1,7} = 5,88 \frac{\text{люди} - \text{год}}{\text{га}}$$

$$B^П = \frac{1 \cdot 10}{3,7} = 2,7 \frac{\text{люди} - \text{год}}{\text{га}}$$

Нормативна завантаженість агрегату на виконанні ґрунтообробки визначаємо за формулою:

$$T_n = \frac{W_{ap}}{W_{год}}, \text{га} \quad (5.2)$$

де W_{ap} – завантаженість агрегату за рік на виконанні основного обробітку, га

$$T_n^B = \frac{20,934}{0,17} = 123,14 \text{ год}$$

$$T_n^П = \frac{20,934}{0,37} = 56,57 \text{ год}$$

Виконаємо розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонти агрегату за формулою:

$$T_{ні} = \frac{B \cdot 9,7\%}{T_n \cdot W_{год} \cdot 100\%}, \frac{\text{грн}}{\text{га}} \quad (5.3)$$

де B – вартість агрегату для основного обробітку ґрунту, грн

$$T_{ні}^B = \frac{507000 \cdot 9,7}{123,14 \cdot 0,17 \cdot 100} = 2349,26 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

$$T_{ні}^П = \frac{865700 \cdot 9,7}{56,57 \cdot 0,37 \cdot 100} = 4011,91 \frac{\text{грн}}{\text{га}}$$

Виконаємо розрахунок загальних витрат на експлуатацію агрегату:

$$V_{\Sigma e} = Z_n + G_{пмм} + T_p, \text{ грн/га} \quad (5.4)$$

- де Z_n – витрати на платню за виконану роботу, грн/га;
 T_p – відповідно значення витрат на ПР, ТО, КР, грн/га.
 $G_{пмм}$ – витрати ПММ, грн/га;

Витрати на платню за виконану роботу:

$$Z_n = \frac{T_c \cdot 1,2 \cdot 2,2}{W_{год}}, \text{ грн/га} \quad (5.5)$$

- де T_c – ставка працівника, грн/год;

Ставку працівника визначимо за формулою:

$$T_c = \frac{W\phi \cdot S_n}{W_n}, \text{ грн} \quad (5.6)$$

- де S_n – оплата нормо-виробітку, $S_n = 500$ грн
 W – продуктивність агрегату за робочу зміну, га/зм.

$$T_c^B = \frac{0,17 \cdot 500}{1,7} = 50 \text{ грн}$$

$$T_c^П = \frac{0,37 \cdot 500}{3,7} = 50 \text{ грн}$$

$$3_{\Pi}^{\text{Б}} = \frac{50 \cdot 1,2 \cdot 2,2}{0,17} = 776,47 \text{ грн/га}$$

$$3_{\Pi}^{\text{П}} = \frac{50 \cdot 1,2 \cdot 2,2}{0,37} = 356,75 \text{ грн/га}$$

Амортизаційні відрахування на закупівлю нової техніки:

$$A_i = \frac{B \cdot a \cdot A_i}{T_n \cdot W_{\text{год}} \cdot 100} \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

де A_i – 15 % нормативне відрахуванн.

$$A_I^{\text{Б}} = \frac{507000 \cdot 15}{123,14 \cdot 0,17 \cdot 100} = 3632,88 \text{ грн/га}$$

$$A_I^{\text{П}} = \frac{865700 \cdot 15}{56,57 \cdot 0,37 \cdot 100} = 6203,98 \text{ грн/га}$$

Витрати на експлуатаційні та інші матеріали:

$$G_{\text{ГММ}} = g \cdot C, \text{ грн/га} \quad (5.8)$$

де g – витрати палива агрегатом на 1 гектар, кг;

C – значення комплексної вартості експлуатаційних та інших матеріалів, грн/кг

Розрахунок витрат на електроенергію виконаємо за рівнянням:

$$E_a = Q_e \cdot C_e, \text{ грн/га} \quad (5.9)$$

де Q_e – витрати електроенергії на 1 га, кВтг;

C_e – вартість електроенергії, грн/кВт

Тоді:

$$G_{mm}^{\delta} = 14,8 \cdot 50 = 740 \text{ грн/га}$$

$$E_a = 16,64 \cdot 5 = 83,21 \text{ грн/га}$$

Значення витрат на обслуговування та ремонти визначимо за рівнянням:

$$T_p = \frac{K \cdot T_{hi}}{W_{год}}, \text{ грн/га} \quad (5.10)$$

де K –коєф. ум. еталонного трактору, $K = 0,7$.

$$T_p^B = \frac{2349,26 \cdot 0,7}{0,17} = 9672,35 \text{ грн/га}$$

$$T_p^П = \frac{4011,91 \cdot 0,7}{0,37} = 7590,1 \text{ грн/га}$$

Тоді сумарні експлуатаційні витрати згідно (5.4) становитимуть:

$$V_{\Sigma E}^П = 776,47 + 3632,88 + 740 + 9672,35 = 14821,7 \text{ грн/га}$$

$$V_{\Sigma E}^П = 356,75 + 6203,98 + 83,21 + 7590,1 = 14234,04 \text{ грн/га}$$

Експлуатаційних витрати на весь технологічний процес:

$$V_e = V_{se} \cdot W_p, \text{ грн} \quad (5.11)$$

$$V_e^{\delta} = 14821,7 \cdot 20,934 = 310277,46 \text{ грн}$$

$$V_e^П = 14234,04 \cdot 20,934 = 297975,39 \text{ грн}$$

Капітальні вкладення на 1 гектар площі визначимо за формулою:

$$K_B^B = \frac{B}{Wp}, \quad \text{грн} \quad (5.12)$$

$$K_B^{\Pi} = \frac{507000}{20,934} = 24218,97 \text{ грн/га}$$

$$K_B^{\Pi} = \frac{865700}{20,934} = 41353,77 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на виконання операції для 1 гектара становлять:

$$\Pi_{в1} = V_{\Sigma e} + 0,15 \cdot K_B, \text{ грн} \quad (5.13)$$

$$\Pi_{в1}^{\circ} = 14821,7 + 0,15 \cdot 24218,97 = 18454,54 \text{ грн/га}$$

$$\Pi_{в1}^{\Pi} = 14234,04 + 0,15 \cdot 41353,77 = 20437,1055 \text{ грн/га}$$

Приведені витрати на виконання операції для всієї площі:

$$\Pi_{в2} = \Pi_{в1} \cdot Wp, \quad \text{грн} \quad (5.14)$$

$$\Pi_{в2}^{\circ} = 18454,54 \cdot 20,934 = 386327,34 \text{ грн}$$

$$\Pi_{в2}^{\Pi} = 20437,1055 \cdot 20,934 = 427830,36 \text{ грн}$$

Річний економічний ефект:

$$E_p = (\Pi_{в2}^{\circ} - \Pi_{в2}^{\Pi}) + E^{\Pi B} \quad \text{грн} \quad (5.15)$$

де $E^{\text{пв}}$ - прибуток від приросту врожайності, грн.

$$E_p = (386327,34 - 427830,36) + 450890 = 409386,98 \text{ грн}$$

Термін окупності проекту:

$$T_{\text{ок}} = \frac{B^{\text{п}} - B^{\text{б}}}{E_p} = \frac{865700 - 507000}{409386,98} = 0,8 \text{ року} \quad (5.16)$$

Зведемо результати розрахунку до таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Економічні показники проекту

Показники	Варіанти		Проектний варіант в (+/-) до базового
	Базовий	Проектний	
Машинний агрегат	ДТЗ-5404+ ПЛ-2-25	Мостова машина+ АК-1	-
Завантаженість агрегату за рік на виконанні основного обробітку, га	20,934	20,934	-
Вартість агрегату, грн	507000	865700	358700
Технологічна операція	Основний обробіток ґрунту	Основний обробіток ґрунту	-
Витрати на електроенергію, грн/га	-	83,21	83,21
Витрати на дизельне пальне, грн/га	740	0	-740
Витрати на технічне обслуговування та ремонти, грн/га	9672,35	7590,1	-2082,25

Продовження табл. 5.2

Витрати на заробітну платню, грн/га	776,47	356,75	-419,72
Експлуатаційні витрати, грн/га	14821,7	14234,04	-587,66
Амортизаційні відрахування, грн	3632,88	6203,98	2571,1
Економічний ефект проекту, грн	409386,98		
Термін окупності проекту, року	0,8 (10 міс.)		

Висновки

Проведені техніко-економічні розрахунки підтвердили доцільність впровадження розробленої мостової машини. Застосування машини на площі поля 20,9 гектара забезпечило річний економічний ефект у розмірі 409386,98 грн. Враховуючи капітальні витрати, термін окупності проекту становить лише 0,8 року, що свідчить про його високу рентабельність і практичну ефективність.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. У межах виконання кваліфікаційної роботи було всебічно обґрунтовано доцільність та ефективність застосування мостової технології обробітку ґрунту для овочевих культур.

2. Проведений аналіз технологічних рішень засвідчив, що традиційні методи механізації мають суттєві обмеження, пов'язані з ущільненням ґрунту, нерівномірністю обробітку та надмірним використанням паливно-мастильних матеріалів. Запропонована концепція агромосту дозволяє усунути більшість цих недоліків, забезпечивши високу точність, мінімальне втручання в структуру ґрунту та енергоефективність за рахунок використання електроприводу та автономного живлення від акумуляторів і сонячних панелей.

3. У конструктивно-розрахунковому розділі було спроектовано несучу ферму, ходову систему, каретку з механізмом агрегування та енергетичний блок. Виконано повний розрахунок міцності конструкції ферми з урахуванням усіх навантажень: власної маси, ваги робочого обладнання, каретки, мотор-коліс, акумуляторних батарей, тягового опору навісних знарядь тощо. Розроблено структурну схему керування всіма виконавчими механізмами машини: приводами ходової частини, механізмом переміщення каретки та системою агрегування.

У процесі енергетичного аналізу було обґрунтовано вибір мотор-коліс, визначено необхідну потужність для переміщення мостової машини та для роботи каретки. Підібрано джерела живлення – акумуляторні батареї високої ємності, що заряджаються в денний час за допомогою сонячних панелей, а вночі – від зовнішнього джерела. Розраховано добову продуктивність машини з урахуванням швидкості пересування та ширини захвату, а також виконано розрахунок тягової потужності при максимальному опорі навісного знаряддя.

4. У розділі з охорони праці було детально проаналізовано ризики при експлуатації мостової машини, наведено заходи щодо безпеки праці, захисту персоналу та екологічного середовища. Показано, що застосування

електроприводу зменшує викиди, рівень шуму та забруднення ґрунту, що робить розробку не лише економічно вигідною, а й екологічно безпечною.

5. Економічний розрахунок довів ефективність упровадження агромостової технології. Загальна вартість реалізації проєкту, включаючи рейкову колію, енергетичну систему та конструкцію машини, була зіставлена з традиційними витратами на виконання аналогічних сільськогосподарських операцій за допомогою тракторів. Розрахунки показали, що вже за один сезон на площі понад 20 га машина демонструє значний економічний ефект, а термін її окупності становить менше одного року (0,8 року).

Таким чином, виконана робота повністю підтверджує актуальність і ефективність впровадження мостової машини в овочівництві, як з інженерної, так і з економічної та екологічної точок зору.

ЛІТЕРАТУРА

1. Надикто В.Т., Улексін В.О. Колійна та мостова системи землеробства: Мо-нографія. – Мелітополь: ТОВ «Видавничий будинок «ММД», 2008. 270 с.
2. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень [Текст] : [монографія] / Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М., Сокол С. П., Надикто В. Т., Улексін В. О., Бойко В. Б., Золотовська О. В., Теслюк Ю. В. Дніпров. держ. аграр.-екон. ун-т. - Дніпро : Акцент ПП, 2023. - 367 с.
3. Білінська В.Ю. Сучасні інноваційні технології в сільському господарстві: основна характеристика та перспективи впровадження / В.Ю. Білінська // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. – 2015 – № 7 (102). – С. 74-80.
4. Супутникові технології в сільському господарстві. <https://propozitsiya.com/articles/tekhnika-ta-obladnannya-inshe/suputnykovi-tekhnohohiyi-u-silskomu-hospodarstvi>.
5. Variable Rate Technology: Everything You Need to Know. <https://www.agrivi.com/blog/variable-rate-technology/>
6. Роботи для сільського господарства. <https://kas32.com/ua/post/view/178>
7. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів гідропневматичного апарата точного висіву насіння овочевих культур [Текст] : дис. канд. техн. наук : 05.05.11 / Бойко Владислав Борисович ; Тавр. держ. агротехнол. ун-т ім. Дмитра Моторного. - Мелітополь, 2021. - 191 с.
8. Lemken inwestuje w sztuczną inteligencję <https://www.farmer.pl/technika-rolnicza/maszyny-rolnicze/lemken-inwestuje-w-sztuczna-inteligencje,126005.html>
9. White Paper On the Ergonica Weed Twister and Other Alternatives to Precise Hand Weeding in Agricultural Applications
http://www.weedtwister.com/hand_weeder_science.htm
10. Робот зі штучним інтелектом сам збирає суницю та полуницю

<https://landlord.ua/news/robot-zi-shtuchnim-intelektom-sam-zbiraye-sunitsyu-ta-polunitsyu/>

11. Kroulík et al. (2011). Procedures of soil farming allowing reduction of compaction

<https://www.semanticscholar.org/paper/5eb989f8bb857fa8ba42355abdb04b51a5af7e4d>

12. Wendt & Hauser (2021). Soil health in the context of Regenerative Agriculture

https://ourlandandwater.nz/wp-content/uploads/2021/10/Schon2021_SoilHealth_in_the_RA_context.pdf

13. AgEng-LAND.TECHNIK 2022 – VDI Verlag eLibrary <https://elibrary.vdi-verlag.de/10.51202/9783181024065/ageng-land-technik-2022>

14. FarmBot

https://farm.bot/?srsId=AfmBOooCSxm3CLrFtQFLymWGC3dCV_W47muYYeb-JHXohhXRjOhc3zKY&utm_source=chatgpt.com

15. Machinery Focus: New chapter for gantry farming from Nexat

https://www.agriland.co.uk/farming-news/machinery-focus-new-chapter-for-gantry-farming-from-nexat/?utm_source=chatgpt.com

16. Horsch presents autonomous seeding machine RO G 500

<https://www.futurefarming.com/tech-in-focus/autonomous-semi-autosteering-systems/horsch-introduces-its-autonomous-planter-to-the-world>

17. The Silsoe Arable Gantry System

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0021863484710638>

18. Ladybird Robot: A New Era of Precision Agriculture

<https://www.sydney.edu.au/engineering/our-research/robotics-and-intelligent-systems/field-robotics.html>

19. AgBot II – Robotic Site-specific Crop and Weed Management Tool

<https://research.qut.edu.au/centre-for-robotics/projects/agbot-ii-robot>

20. Агроміст. Патент № 127654

21. Панченко О.М. Теорія та розрахунок сільськогосподарських машин: Лабораторний практикум / Дніпропетр. Держ. Агр. Ун-т. - Дніпропетровськ, 2002. - 396 с.
22. Зінченко О.І. та ін. Рослинництво: Підручник / О.І Зінченко. В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. – К.: Аграрнаосвіта, 2001. – 591 с.: іл.
23. В.І. Дирда Деталі машин: Підручник. – Д.: Вид. ПП Авантаж, 2006. – 448 с.
24. Войтюк Д., Аніскевич Л., Волянський М. Перспективи впровадження в Україні системи точного землеробства / Збірник наукових праць національного аграрного університету “Механізація сільського виробництва”. Том 13. – Київ: НАУ, 2002.- С. 93...97.
25. Войтюк Д.Г. Сільськогосподарські та меліоративні машини. К.: Вища освіта, 2004. 544 с.
26. Ломакін В.М., Зубенко Б.І. Автоматизація агромонових систем / Трактори та сільськогосподарські машини – 1991 № 9. – С. 19...23.
27. Шустік Л., Осіпов Л. Перспективи впровадження системи адресного землеробства / Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник. Вип. 28. – Кіровоград: КДТУ, 2009.- С. 215...218.
28. «Конституція України», прийнята 28 червня 1996 р.
29. Голінько В.І. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; Нац. гірн. ун-т. –2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
30. Закон України «Про охорону праці». № 2695-ХІІ від 24.11.1992 року
31. Шпилько О.В. Методика визначення економічної ефективності технології та сільськогосподарської техніки / А.В. Шпилько, В.І. Драгай. – К.: ВНДІЕСГ, 1998. - 219 с.

Додатки

Додаток А
Вихідні дані

Показник	Позначення	Значення
Ширина поля	B	360
Довжина поля	L	600
Довжини мостової машини	F_a	17-24
Ширину доріжки	$w_{\text{тех}}$	1
Стальна квадратна труба	$B \times B \times C$	50×50×5
Маса ферми	$m_{\text{фери}}$	1568
Маса каретки	$m_{\text{каретки}}$	70
Маса навісного знаряддя	$m_{\text{органів}}$	150
Маса акумуляторів	$m_{\text{акумуляторів}}$	260
Маса сонячних панелей	$m_{\text{панелей}}$	216
Маса мотор-коліс	$m_{\text{моторколіс}}$	140
Маса рами ходової частини	$m_{\text{рами}}$	250
Прискорення вільного падіння	g	9,81
Зовнішня сторона труби	a	0,05
Товщина стінки	t	0,005
Відстань до нейтральної осі	y	0,05
Коефіцієнт тертя сталі по сталі	μ	0,01
Швидкість агромоста	v	1,11
Тяговий опір на каретку	$F_{\text{тяг}}$	2000
Споживання системи керування та навігації	$P_{\text{елект}}$	0,5
Запас на пікові навантаження	$P_{\text{запас}}$	1
Тривалість зміни	t	10
Коефіцієнт запасу	k	1,2
Потужність однієї панелі	$P_{\text{од.}}$	555

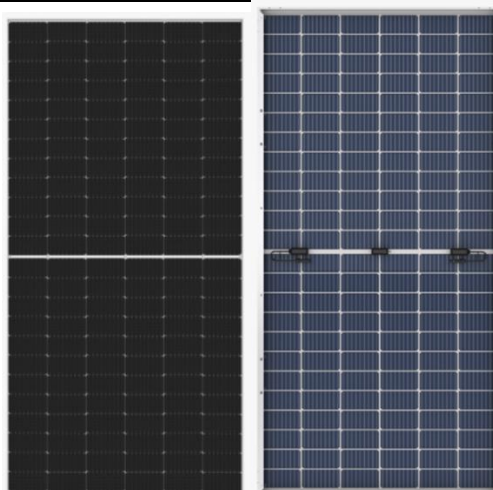
Площа однієї панелі	$S_{\text{п}}$	2
Ширина захвату знаряддя	b	1,4
Швидкість переміщення каретки з знаряддям	$v_{\text{кар}}$	2
Час на підняття і опускання знаряддя праці	$t_{\text{під.}} = t_{\text{опуск.}}$	5
Час на переміщення агромоста	$t_{\text{пререм.}}$	5
Оплата нормо-виробітку	$S_{\text{н}}$	500

Додаток Б

Характеристика Сонячної панелі Longi Solar LR5-72HBD-555M, 555Вт

Виробник:	Longi Solar
Країна-виробник:	Китай
Модель:	LR5-72HBD-555M
Технологія виробництва:	Half-Cell, Bifical
Тип фотомодуля:	монокристал
Кількість струмозмінних доріжок (bb), шт:	9
Електричні характеристики	
Потужність, Вт:	555
Напруга при макс. потужності, В:	42.10
Струм при макс. потужності, А:	13.19
Струм короткого замикання, А:	14.05
Напруга холостого ходу, В:	49.95
Запас потужності, Вт:	0...+5
Максимальна напруга у системі, В:	1500
ККД фотомодуля, %:	21.5
Температурні показники	
Температурний коефіцієнт потужності, %/°C:	-0.34
Температурний коефіцієнт напруги, %/°C:	-0.265
Температурний коефіцієнт струму, %/°C:	0.05
Робоча температура, °C:	-40...+85
Механічні характеристики	
Кількість фотоелементів, шт:	72 (6x24)
Габарити, Д*Ш*Т, мм:	2278x1134x30
Вага, кг:	31.8
Ступінь захисту фотомодуля:	IP68
Рама:	анодований алюміній

Загальний вигляд



Додаток В

Характеристика мотор-колеса ZLTECH 8inch 24V-48V 150W		
Item	ZLLG80ASM250-L V1.0	ZLLG80ASM250-L V3.0
Size	8.0"	8.0"
Tire	Rubber	Rubber
Wheel Diameter(mm)	200	200
Shaft	Single/Double	Single
Rated voltage (VDC)	24	24
Rated power (W)	150	150
Rated torque (N.m)	5.5	5.5
Peak torque (N.m)	16	16
Rated Phase current (A)	6.5	6.5
Peak current (A)	19	19
Rated speed (RPM)	200	200
Max speed (RPM)	260	260
Poles No (Pair)	15	15
Encoder	1024 Optical	4096 Magnetic
Protection level	IP54	IP65
Lead wire (mm)	600±50	600±50
Insulation voltage resistance (V/min)	AC1000V	AC1000V
Insulation voltage(V)	DC500V, >20MΩ	DC500V, >20MΩ
Ambient temperature (°C)	-20~+40	-20~+40
Ambient humidity (%)	20~80	20~80
Weight(KG)	Single shaft: 3.40 Double shaft: 3.45	Single shaft: 3.40

Загальний вигляд



Додаток Г

Характеристика Батареї Tesla 55 кВт

Код запчастини	110442800W
Виробник	Tesla
Країна виробник	США
Гарантійний термін	1 рік
Стан	Вживані
Користувацькі характеристики	
Марка	TESLA
Модель	Model 3
Серія	Model 3
Тип запчастини	Оригінал

Загальний вигляд

