

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності використання мостової технології
землеробства шляхом удосконалення конструкції агромоста**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-1-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Джунь Кирило Олександрович

Керівник: _____ Бойко Владислав Борисович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

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)

« » 2026 р.

З А В Д А Н Н Я НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Джуню Кирилу Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності використання мостової технології землеробства шляхом удосконалення конструкції агромоста

керівник роботи Бойко Владислав Борисович, к.т.н., доцент

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від

«5» травня 2026 року № 912.

2. Строк подання студентом роботи 8.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проєкту Матеріали по розробці енергетичних засобів мостового типу. Актуальні розробки запропоновані в патентах та реалізовані у вигляді діючих машин та пристроїв, наукові напрацювання за даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз сучасних машин мостового типу. 3. Обґрунтування конструкції та розрахунки агромоста. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка агромоста. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

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

1. Аналіз конструктивних рішень (А1). 2. Технологічна схема(А1).

3. Конструктивна схема (А1). 4. Складальне креслення (А1).

5. Деталювання (А1). 6. Економічні показники проекту (А1).

6. Консультанти розділів проєкту

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

7. Дата видачі завдання: 23.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)	до 3.04.26	
2	Технологічний	до 20.04.26	
3	Конструктивний	до 18.05.26	
4	Охорона праці	до 22.05.26	
5	Економічний	до 28.05.26	
6	Графічна частина	до 8.06.26	

Студент

_____ Джунь К.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Бойко В. Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

<i>Поз.</i>	<i>Форм.</i>	<i>Позначення</i>	<i>Найменування</i>	<i>Кіл.</i>	<i>Прим.</i>
			<u>Текстові документи</u>		
	A4	52ДП.069.000.000ПЗ	Пояснювальна записка	94	
			<u>Графічні матеріали</u>		
1	A1	52ДП.069.000.000А	Аналіз конструктивних рішень	1	
2	A1	52ДП.069.000.000ТХ	Технологічна схема	1	
3	A1	52ДП.069.100.000ВЗ	Конструктивна схема	1	
4	A1	52ДП.069.000.000СК	Складальне креслення	1	
5	A1	52ДП.069.000.000	Деталювання	1	
6	A1	52ДП.069.000.000Е	Економічні показники проекту	1	
			52.ДП.069.000.000.ПД		
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>			
<i>Розроб.</i>		<i>Джунь К.О..</i>			
<i>Перев.</i>		<i>Бойко В.Б.</i>		<i>Лім.</i>	<i>Лист</i>
<i>Т.контр.</i>				<i>у</i>	<i>Листів</i>
				4	94

<i>Н.контр.</i>	<i>Золотовська О.В.</i>		<i>Відомість</i>	<i>ДДАЕУ</i>
<i>Зат.</i>	<i>Теслюк Г.В.</i>		<i>дипломного проекту</i>	<i>АІ-1-22</i>

АНОТАЦІЯ

Джунь К.О. Підвищення ефективності використання мостової технології землеробства шляхом удосконалення конструкції агромошта/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто підвищення ефективності мостової технології землеробства шляхом удосконалення конструкції агромостової машини. Проаналізовано сучасний стан і перспективи розвитку мостового землеробства, визначено його переваги: зменшення ущільнення ґрунту, підвищення точності операцій та зниження енерговитрат.

Обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри агромошта, що рухається по рейкових напрямних, та особливості його роботи у відкритому ґрунті. Запропоновано удосконалення конструкції ферми, приводу переміщення і системи позиціонування робочих органів із використанням мехатронних елементів.

Виконано розрахунки основних вузлів, визначено навантаження та енергоспоживання. Оцінка ефективності показала зниження витрат енергії та підвищення продуктивності порівняно з традиційними агрегатами. Розроблено заходи з охорони праці та економічне обґрунтування впровадження.

Ключові слова: агроміст, мостова технологія, точне землеробство, мехатроніка, енергоефективність.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «ЗОРЯ»	9
1.1. Загальна характеристика господарства	9
1.2. Структура посівних площ і спеціалізація виробництва	10
1.3. Технічне забезпечення та рівень механізації	13
1.4. Аналіз виробничо-економічних показників діяльності	16
1.5. Проблеми та резерви підвищення ефективності виробництва	19
1.6. Висновки	21
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1. Аналіз існуючих технологій вирощування овочевих культур	22
2.2. Особливості мостової технології землеробства	27
2.3. Технологічні процеси та параметри мостової технології	31
2.4. Аналіз конструкцій енергетичних засобів мостового типу	34
2.5. Висновки	39
3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	40
3.1. Удосконалення конструкції несучої ферми агромошта	40
3.2. Розрахунки на міцність та жорсткість удосконаленої конструкції	44
3.3. Розрахунок опор агромошта	55
3.4. Розрахунок енергоспоживання та продуктивності	61
3.5. Висновки	66
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	67
4.1. Аналіз умов праці при використанні агромостової машини	67
4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори	70
4.3. Заходи з охорони праці та техніки безпеки	74

	7
4.4. Екологічна оцінка технології	77
4.5. Висновки	79
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	80
5.1. Загальні положення	80
5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат традиційної та мостової технології	82
5.3. Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності проекту	87
5.4. Висновки	89
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	90
ЛІТЕРАТУРА	92
ДОДАТКИ	95

ВСТУП

Сучасний розвиток сільського господарства спрямований на підвищення ефективності використання земельних, енергетичних і технічних ресурсів, а також на впровадження інноваційних технологій виробництва продукції. В умовах зростання вартості енергоносіїв і необхідності збереження родючості ґрунтів особливої актуальності набуває пошук нових технічних і технологічних рішень, здатних забезпечити сталий розвиток аграрного виробництва.

Традиційні технології землеробства, що базуються на використанні колісних і гусеничних машин, мають ряд суттєвих недоліків. До них належать ущільнення ґрунту, нерівномірність виконання технологічних операцій, значні витрати пального та обмежені можливості автоматизації. Це призводить до зниження ефективності виробництва та погіршення агрофізичних властивостей ґрунту.

Одним із перспективних напрямів розвитку сучасного землеробства є мостова технологія [1-3], яка передбачає виконання польових робіт за допомогою агромостових машин, що переміщуються по постійних напрямних або рейкових коліях. Використання таких систем дозволяє повністю усунути ущільнення ґрунту, забезпечити високу точність виконання технологічних операцій та створити умови для автоматизації виробничих процесів.

Ефективність застосування мостової технології значною мірою залежить від конструктивних особливостей агромоста, зокрема його несучої системи, механізмів переміщення, приводу та системи керування. Недосконалість конструкції може призводити до зниження надійності роботи, збільшення енерговитрат і обмеження функціональних можливостей машини. У зв'язку з цим удосконалення конструкції агромоста є важливим напрямом підвищення ефективності мостового землеробства.

Метою даної роботи є підвищення ефективності використання мостової технології землеробства шляхом удосконалення конструкції агромоста.

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ ТОВ «ЗОРЯ»

1.1. Загальна характеристика господарства

Товариство з обмеженою відповідальністю «ЗОРЯ» є сільськогосподарським підприємством, що здійснює виробничу діяльність на території Дніпропетровської області. Господарство розташоване на відносно невеликій відстані 86 км від обласного центру та за 16 км від міста Павлоград, що створює сприятливі умови для забезпечення матеріально-технічними ресурсами, реалізації продукції та організації логістичних процесів.

Земельний фонд підприємства становить понад 1600 гектарів сільськогосподарських угідь [4], що дає можливість ефективно організовувати виробництво та впроваджувати науково обґрунтовані сівозміни. Використання значних площ дозволяє поєднувати різні галузі сільського господарства та забезпечувати стабільність виробничої діяльності.

Виробнича структура господарства має комплексний характер і включає як рослинницьку, так і тваринницьку галузі. Основну частину доходу формує рослинництво, яке орієнтоване на вирощування зернових і технічних культур. Водночас розвиток тваринництва, зокрема вівчарства, сприяє більш раціональному використанню кормових ресурсів та підвищенню загальної ефективності господарювання.

Кадровий потенціал підприємства представлений приблизно 60 працівниками, що забезпечує виконання повного комплексу виробничих процесів. Така чисельність персоналу відповідає масштабу господарства та дозволяє підтримувати належний рівень організації праці.

Матеріально-технічна база господарства включає машинно-тракторний парк, ремонтно-обслуговуючі підрозділи, склади для зберігання

продукції та сушильні комплекси. Наявність таких елементів інфраструктури забезпечує своєчасне виконання технологічних операцій і зменшує втрати продукції під час зберігання.

Природно-кліматичні умови території характеризуються рівнинним рельєфом із наявністю балкових утворень та помірно посушливим кліматом. Це зумовлює необхідність застосування технологій, спрямованих на збереження вологи в ґрунті та підвищення ефективності використання ресурсів.

Отже, ТОВ «ЗОРЯ» є господарством із достатнім виробничим, земельним і технічним потенціалом, що створює передумови для впровадження сучасних технологій, зокрема елементів точного та мостового землеробства з метою підвищення ефективності виробництва.

1.2. Структура посівних площ і спеціалізація виробництва

Рослинництво є провідною галуззю діяльності ТОВ «ЗОРЯ», яка формує основну частину валової продукції підприємства. Організація виробництва базується на ефективному використанні земельних ресурсів, дотриманні сівозмін та впровадженні сучасних агротехнологій, що забезпечує стабільність виробничих показників.

У структурі посівних площ господарства домінують зернові культури, серед яких найбільшу частку займають озима пшениця та кукурудза на зерно. Серед технічних культур важливе місце займають соняшник і ріпак.

Важливим напрямом розвитку господарства є впровадження овочівництва, яке було започатковано з 2024 року. Виділення окремих площ під овочеві культури обумовлено прагненням до диверсифікації виробництва та переходу до більш інтенсивних технологій вирощування. Овочівництво характеризується вищим рівнем урожайності та потребує більш точного дотримання технологічних параметрів, зокрема при виконанні посівних

операцій. Для більш детального аналізу структури посівних площ розглянемо дані, наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Структура посівних площ ТОВ «ЗОРЯ»

Культура	2023 р., га	2024 р., га	2025 р., га	Частка 2025, %
Кукурудза на зерно	518	540	570	33,1
Озима пшениця	540	520	510	29,7
Ріпак	322	349	379	22,0
Соняшник	181	150	140	8,1
Ярий ячмінь	120	105	95	5,5
Овочеві культури	–	26	26	1,5
Всього	1681	1690	1720	100

Як видно з таблиці 1.1, у структурі посівів переважають зернові культури, зокрема кукурудза та озима пшениця. Спостерігається тенденція до збільшення площ під кукурудзою, тоді як частка соняшнику та ячменю поступово зменшується, що пов'язано з оптимізацією сівозміни та підвищенням ефективності використання земель. Важливим показником ефективності виробництва є рівень урожайності сільськогосподарських культур, який наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Урожайність основних культур ТОВ «ЗОРЯ», ц/га

Культура	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Кукурудза на зерно	64,4	66,8	69,2
Озима пшениця	58,2	60,0	62,5
Ріпак	25,4	26,2	27,0
Соняшник	18,6	19,5	20,2
Ярий ячмінь	36,0	34,5	33,0
Овочеві культури	–	210	235

Дані таблиці свідчать про поступове зростання урожайності більшості культур. Це досягається за рахунок удосконалення технологій вирощування, застосування добрив та підвищення культури землеробства. Особливо високі показники мають овочеві культури, що є характерним для інтенсивного виробництва.

Для оцінки результатів діяльності галузі рослинництва доцільно проаналізувати обсяги валового виробництва, наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Валове виробництво продукції рослинництва ТОВ «ЗОРЯ»

Культура	2023 р., т	2024 р., т	2025 р., т
Кукурудза на зерно	3336	3607	3944
Озима пшениця	3143	3120	3188
Ріпак	818	914	1023
Соняшник	337	293	283
Ярий ячмінь	432	362	314
Овочеві культури	—	546	611

Аналіз валового виробництва показує, що основну частину продукції формують зернові культури, зокрема кукурудза та пшениця. Водночас спостерігається зростання виробництва ріпаку та овочевих культур, що свідчить про підвищення ефективності використання земельних ресурсів.

З урахуванням розвитку овочівництва значно підвищуються вимоги до якості виконання посівних операцій. Це обумовлює необхідність використання високоточних машин і механізмів, здатних забезпечити рівномірний висів насіння та стабільну глибину його загортання. Таким чином, структура посівних площ ТОВ «ЗОРЯ» є збалансованою та орієнтованою на підвищення економічної ефективності. Подальший розвиток господарства пов'язаний із

впровадженням сучасних технологій, зокрема точного та мостового землеробства, що потребує удосконалення конструкції посівних машин.

1.3. Технічне забезпечення та рівень механізації

Рівень технічного забезпечення є одним із ключових факторів, що визначає ефективність виробничої діяльності сільськогосподарського підприємства. У ТОВ «ЗОРЯ» сформовано машинно-тракторний парк, який забезпечує виконання основних технологічних операцій у рослинництві, включаючи обробіток ґрунту, сівбу, догляд за посівами та збирання врожаю.

До складу технічного забезпечення входять трактори різних класів тяги, зернозбиральні комбайни, ґрунтообробні машини, сівалки, обприскувачі та транспортні засоби. Наявність різнопрофільної техніки дозволяє формувати ефективні машинно-тракторні агрегати залежно від умов виконання робіт.

Для більш детальної оцінки технічного потенціалу господарства розглянемо склад і структуру машинно-тракторного парку, наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Склад машинно-тракторного парку ТОВ «ЗОРЯ»

Група техніки	Найменування техніки	Кількість, шт.
1	2	3
Трактори	МТЗ-821, МТЗ-892	7
	К-700, ХТЗ-17021	4
	John Deere 8320, Case MHA 255	2
Комбайни	John Deere 9500, КЗС-9-1	3

Продовження табл. 1.4

1	2	3
Обприскувачі	Case IH 3320, Вектор-3000	3
Плуги	ПЛН-3-35, ПЛП-5-35, John Deere 3810	12
Культиватори	КПС-4, КРН, КПН, ТМ «Титан»	23
Борони	ДМ-6, ДМТ-6	5
Сівалки	СЗ-3,6; СЗ-5,4; СЧПН-8; John Deere	16
Посівні комплекси	Case SDX 30, Concord 2000	4
Інша техніка	Розкидачі, котки, навантажувачі	15
Транспорт	КрАЗ, МАЗ, МАН, ГАЗ-53	13

Як видно з таблиці 1.4, господарство має достатньо широкий набір технічних засобів для виконання всіх основних польових операцій. Наявність як вітчизняної, так і імпортової техніки дозволяє підвищити гнучкість виробничого процесу та забезпечити виконання робіт у оптимальні агротехнічні строки.

Важливою перевагою є наявність сучасних тракторів і посівних комплексів, що дає змогу підвищити продуктивність праці та знизити витрати пального. Водночас значна частина техніки представлена машинами попередніх поколінь, які мають нижчу точність роботи та більші енерговитрати.

Рівень механізації в господарстві можна оцінити через показники енергозабезпеченості та використання техніки, які наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Показники рівня механізації ТОВ «ЗОРЯ»

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Потужність МТП, кВт	2350	2450	2600
Енергозабезпеченість, кВт/га	1,40	1,45	1,50
Витрати палива, л/га	82	79	76
Енергоємність, кВт·год/га	1450	1400	1350

Аналіз даних таблиці 1.5 показує, що рівень механізації господарства поступово зростає. Збільшення потужності машинно-тракторного парку та зниження витрат палива свідчать про підвищення ефективності використання техніки.

Разом із тим, існують певні недоліки в технічному забезпеченні. Зокрема, при виконанні операцій точного висіву не завжди забезпечується необхідна рівномірність розміщення насіння та стабільність глибини загортання. Це особливо важливо при вирощуванні овочевих культур, які потребують високої точності технологічних операцій.

Недостатня якість виконання посіву пов'язана як із конструктивними особливостями існуючих сівалок, так і зі станом їх робочих органів. У першу чергу це стосується сошників, які безпосередньо взаємодіють із ґрунтом і визначають параметри формування посівного ложа.

У зв'язку з цим виникає необхідність удосконалення конструкції робочих органів посівних машин, зокрема сошників, з метою підвищення точності висіву та зниження енерговитрат. Це є особливо актуальним при впровадженні мостової технології землеробства, яка передбачає високий рівень автоматизації та точності виконання технологічних операцій.

Таким чином, технічне забезпечення ТОВ «ЗОРЯ» є достатнім для ведення сільськогосподарського виробництва, проте потребує подальшого вдосконалення з урахуванням сучасних вимог до точності та енергоефективності, що і обумовлює актуальність даної роботи.

1.4. Аналіз виробничо-економічних показників діяльності

Ефективність діяльності сільськогосподарського підприємства визначається системою виробничо-економічних показників, які відображають результати використання земельних, трудових і матеріально-технічних ресурсів. Для оцінки діяльності ТОВ «ЗОРЯ» доцільно проаналізувати основні економічні показники за останні роки.

Основні економічні показники діяльності господарства наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 – Основні економічні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ»

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Рентабельність рослинництва, %	55–131	58–135	60–140
Рентабельність тваринництва, %	36	37,5	39
Середньорічна зарплата, грн	180000	192000	205000
Середньомісячна зарплата, грн	18400	20000	21500
Чисельність працівників, осіб	60	62	65
Кредитна заборгованість, грн	124689	118000	110000

Як видно з таблиці 1.6, господарство характеризується стабільною позитивною динамікою розвитку. Рівень рентабельності рослинництва залишається високим, що свідчить про ефективність обраної спеціалізації. Спостерігається поступове зростання заробітної плати працівників та збільшення їх чисельності, що пов'язано з розширенням виробництва. Водночас зменшення кредитної заборгованості свідчить про покращення фінансового стану підприємства.

Важливим показником є обсяг виробництва продукції, який безпосередньо впливає на економічні результати господарства. Динаміка валового виробництва основних культур наведена в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Виробництво продукції рослинництва ТОВ «ЗОРЯ»

Культура	2023 р., т	2024 р., т	2025 р., т
Кукурудза на зерно	3336	3607	3944
Озима пшениця	3143	3120	3188
Ріпак	818	914	1023
Соняшник	337	293	283
Ярий ячмінь	432	362	314
Овочеві культури	—	546	611

Аналіз даних таблиці 1.7 показує, що основний обсяг продукції формується за рахунок зернових культур. Особливо помітним є зростання виробництва кукурудзи, що обумовлено як розширенням площ, так і підвищенням урожайності. Водночас збільшення обсягів виробництва ріпаку та

овочевих культур свідчить про диверсифікацію виробництва та підвищення його ефективності.

Важливою складовою оцінки діяльності підприємства є рівень енергетичного забезпечення виробництва, який характеризує ефективність використання технічних засобів. Основні показники енергозабезпеченості наведені в таблиці 1.8.

Таблиця 1.8 – Показники енергозабезпеченості ТОВ «ЗОРЯ»

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Потужність МТП, кВт	2350	2450	2600
Енергозабезпеченість, кВт/га	1,40	1,45	1,50
Витрати палива, л/га	82	79	76
Енергоємність, кВт·год/га	1450	1400	1350

Як видно з таблиці 1.8, у господарстві спостерігається тенденція до підвищення рівня енергозабезпеченості та одночасного зниження витрат палива. Це свідчить про підвищення ефективності використання техніки та впровадження більш раціональних технологічних рішень.

Разом із тим значна частина енергетичних витрат припадає на виконання ґрунтообробних і посівних операцій. Це обумовлює необхідність зниження енергоємності виробництва за рахунок удосконалення конструкції робочих органів машин.

Особливо актуальним це є в умовах розвитку овочівництва та впровадження технологій точного землеробства, де підвищуються вимоги до якості виконання посіву. Існуючі технічні засоби не завжди забезпечують

необхідну точність, що негативно впливає на врожайність і економічні показники.

Таким чином, аналіз виробничо-економічних показників діяльності ТОВ «ЗОРЯ» свідчить про стабільний розвиток господарства та наявність резервів підвищення ефективності виробництва. Одним із перспективних напрямів є удосконалення конструкції посівних машин, що дозволить підвищити точність висіву, знизити енерговитрати та покращити загальні економічні результати підприємства.

1.5. Проблеми та резерви підвищення ефективності виробництва

Аналіз виробничо-господарської діяльності ТОВ «ЗОРЯ» свідчить про достатньо високий рівень розвитку підприємства, стабільні економічні показники та наявність сформованої матеріально-технічної бази. Водночас у процесі функціонування господарства виявлено ряд проблем, які стримують подальше підвищення ефективності виробництва.

Однією з основних проблем є значна енергоемність технологічних процесів, насамперед обробітку ґрунту та посіву. Використання традиційних машинно-тракторних агрегатів супроводжується високими витратами палива, що збільшує собівартість продукції та знижує економічну ефективність виробництва. Незважаючи на поступове оновлення технічного парку, частина машин має застарілу конструкцію, що не відповідає сучасним вимогам енергоефективності.

Суттєвим недоліком є також недостатній рівень точності виконання технологічних операцій, особливо під час посіву сільськогосподарських культур. Існуючі сівалки не завжди забезпечують рівномірне розміщення насіння та стабільну глибину його загортання, що негативно впливає на польову схожість і рівномірність розвитку рослин. Ця проблема особливо актуальна для овочевих культур, які потребують високої точності висіву.

Крім того, застосування традиційної колісної техніки призводить до ущільнення ґрунту, що погіршує його фізичні властивості, знижує водопроникність і негативно впливає на врожайність. В умовах інтенсивного землеробства це є важливим фактором, який обмежує ефективність використання земельних ресурсів.

Серед інших проблем слід відзначити:

- нерівномірність виконання технологічних операцій через людський фактор;
- обмежені можливості автоматизації виробничих процесів;
- недостатній рівень адаптації техніки до нових напрямів виробництва, зокрема овочівництва;
- підвищені витрати на технічне обслуговування та ремонт машин.

Виявлені проблеми обумовлюють необхідність пошуку резервів підвищення ефективності виробництва. Одним із основних напрямів є впровадження ресурсозберігаючих технологій, які дозволяють зменшити витрати енергії та матеріальних ресурсів.

Перспективним рішенням є застосування технологій точного землеробства, що забезпечують підвищення точності виконання операцій, оптимізацію норм висіву та внесення добрив, а також зменшення впливу людського фактору.

Особливу увагу слід приділити впровадженню мостової технології землеробства, яка дозволяє:

- повністю усунути ущільнення ґрунту за рахунок руху техніки по постійних коліях або рейках;
- забезпечити високу точність виконання технологічних операцій;
- знизити енерговитрати за рахунок оптимізації руху машин;
- створити умови для автоматизації виробничих процесів.

Важливим резервом підвищення ефективності є також удосконалення конструкції робочих органів сільськогосподарських машин, зокрема сошників

сівалок. Саме сошник визначає якість формування посівного ложа, рівномірність глибини загортання насіння та величину тягового опору агрегату.

У зв'язку з цим актуальним є розроблення вдосконаленої конструкції сошника для сівалки точного висіву, адаптованої до умов мостового землеробства. Такий сошник повинен забезпечувати стабільну роботу в різних ґрунтових умовах, зменшення енерговитрат і підвищення якості посіву.

Таким чином, підвищення ефективності виробництва в ТОВ «ЗОРЯ» можливе за рахунок комплексного підходу, що включає модернізацію технічних засобів, впровадження інноваційних технологій і вдосконалення конструкції робочих органів машин, що і визначає актуальність даної роботи.

1.6. Висновки

1. Аналіз діяльності ТОВ «ЗОРЯ» показав, що господарство має достатній виробничий і технічний потенціал та стабільні показники розвитку. Основною галуззю є рослинництво, а впровадження овочівництва потребує більш точних технологій вирощування.

2. Разом із тим виявлено ряд проблем, зокрема значні енерговитрати та недостатня точність виконання посівних операцій, що пов'язано з конструктивними недоліками існуючих машин.

3. Перспективним напрямом підвищення ефективності є впровадження технологій точного та мостового землеробства. Це обумовлює доцільність розробки вдосконаленої конструкції сошника, що забезпечить підвищення якості посіву та зниження енерговитрат.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Аналіз існуючих технологій вирощування овочевих культур

Вирощування овочевих культур є однією з найбільш інтенсивних галузей рослинництва, яка висуває підвищені вимоги до якості виконання технологічних операцій, рівня механізації та точності дотримання агротехнічних параметрів. Особливістю овочевих культур є їх висока чутливість до умов проростання, рівномірності розміщення рослин та фізичних властивостей ґрунту. Встановлено, що відхилення глибини загортання насіння на 1–2 см або порушення інтервалу між рослинами на 10–15 % може призводити до зниження врожайності на 10–25 % [5, 6].

Сучасні технології вирощування овочевих культур умовно поділяються на традиційні, інтенсивні та високоточні. Кожна з них має свої особливості, які визначають ефективність їх застосування в умовах конкретного господарства.

Традиційні технології базуються на використанні універсальних машинно-тракторних агрегатів і передбачають виконання комплексу операцій: обробітку ґрунту, внесення добрив, посіву, догляду за посівами та збирання врожаю. Робоча швидкість агрегатів зазвичай становить 6–10 км/год, а ширина захвату – 3–6 м. Основними недоліками таких технологій є низька точність виконання операцій: відхилення глибини посіву можуть досягати 20–30 %, а нерівномірність розміщення насіння – до 25 %. Це призводить до зниження польової схожості та нерівномірного розвитку рослин.

Інтенсивні технології [7-10] передбачають застосування високопродуктивної техніки, систем удобрення та захисту рослин. Вони забезпечують підвищення врожайності овочевих культур до рівня 200–400 ц/га залежно від культури. Водночас такі технології характеризуються значними витратами ресурсів: витрати палива становлять 70–90 л/га, а енергоємність – до 1200–1500 кВт·год/га. Крім того, багаторазові проходи техніки (до 8–12 разів за

сезон) спричиняють ущільнення ґрунту, що може знижувати врожайність на 5–20 %.



Рисунок 2.1 – Інтенсивна технологія землеробства

Технології точного землеробства (рис. 2.2) [11-18] базуються на використанні GPS-навігації, автоматизованих систем керування та диференційованого внесення ресурсів. Вони дозволяють зменшити витрати насіння на 10–20 %, добрив – на 15–25 %, а також підвищити врожайність на 10–30 %. Точність розміщення насіння при цьому досягає 90–95 %. Однак навіть за таких умов зберігається проблема ущільнення ґрунту та залежність від стабільності руху агрегату.

Особливе значення в технології вирощування овочевих культур має операція посіву. Для її виконання застосовуються сівалки точного висіву, які забезпечують задану густоту стояння рослин та глибину загортання насіння в межах 2–5 см. Проте в реальних умовах експлуатації відхилення від заданих

параметрів можуть становити 10–20 % через нерівності поверхні поля, зміну щільності ґрунту та коливання швидкості руху агрегату.

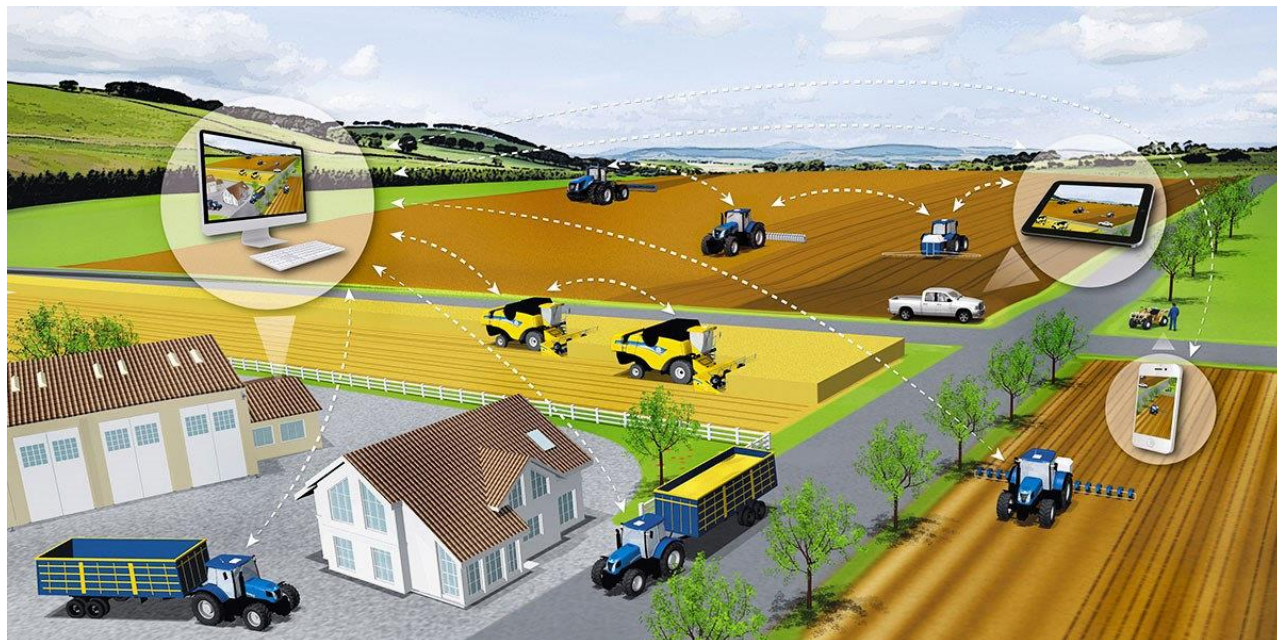


Рисунок 2.2 – Технологія точного землеробства

Однією з найбільш суттєвих проблем є ущільнення ґрунту під дією колісної техніки. Тиск на ґрунт від ходових систем тракторів може досягати 100–200 кПа, що призводить до зменшення пористості ґрунту на 10–15 % і зниження його водопроникності на 20–40 %. Це негативно впливає на розвиток кореневої системи рослин і ефективність використання вологи.

У зв'язку з цим особливого значення набувають альтернативні підходи до організації технологічних процесів, серед яких перспективною є мостова технологія землеробства. Її сутність полягає у використанні спеціалізованих агромостових машин, що переміщуються по постійних рейкових або колійних напрямних і не здійснюють безпосереднього тиску на оброблювану поверхню ґрунту.

Застосування агромостів дозволяє повністю усунути явище ущільнення ґрунту, що є одним із ключових факторів підвищення врожайності овочевих

культур [1, 19]. Крім того, така технологія забезпечує стабільність умов виконання технологічних операцій, оскільки рух робочих органів відбувається по жорстко заданій траєкторії. Це дозволяє досягти високої точності позиціонування – на рівні $\pm 1-2$ см, що значно перевищує показники традиційних машинно-тракторних агрегатів.

Ще однією важливою перевагою мостової технології є можливість зменшення кількості проходів техніки по полю до 2–4 за сезон, що сприяє зниженню енерговитрат на 20–30 %. При цьому створюються сприятливі умови для автоматизації виробничих процесів, використання систем точного землеробства та інтеграції мехатронних елементів керування.



Рисунок 2.3 – Мостова технологія землеробства

Особливо ефективним застосування агромостових систем є при вирощуванні овочевих культур, де висувуються підвищені вимоги до точності виконання технологічних операцій, зокрема посіву, внесення добрив і догляду за рослинами. Використання агромоста дозволяє забезпечити рівномірність

розміщення рослин, стабільну глибину загортання насіння та оптимальні умови розвитку кореневої системи.

Таким чином, впровадження мостової технології землеробства дозволяє усунути основні недоліки традиційних та інтенсивних технологій і створює передумови для підвищення ефективності вирощування овочевих культур, що обумовлює доцільність удосконалення конструкції агромостових машин.

З метою узагальнення характеристик існуючих технологій проведено їх порівняльний аналіз, результати якого наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика технологій вирощування овочевих культур

Показник	Традиційна технологія	Інтенсивна технологія	Точне землеробство	Мостова технологія
Урожайність, ц/га	120–180	200–350	250–400	300–450
Витрати палива, л/га	80–100	70–90	60–75	45–65
Енергоємність, кВт·год/га	1400–1600	1200–1400	1000–1200	800–1000
Кількість проходів техніки	10–12	8–10	6–8	2–4
Точність висіву, %	70–80	75–85	90–95	95–98
Ущільнення ґрунту	Високе	Середнє	Середнє	Відсутнє
Рівень автоматизації	Низький	Середній	Високий	Дуже високий

Як видно з таблиці 2.1, традиційні технології поступаються сучасним за більшістю показників, особливо за точністю та енергоефективністю. Інтенсивні технології дозволяють підвищити врожайність, однак супроводжуються значними витратами ресурсів. Технології точного землеробства значно підвищують якість виконання операцій, проте не усувають проблему ущільнення ґрунту.

Найбільш перспективною є мостова технологія землеробства, яка забезпечує високу точність виконання технологічних операцій (до $\pm 1-2$ см), зниження енерговитрат на 20–30 % та повну відсутність ущільнення ґрунту. Це створює оптимальні умови для росту та розвитку овочевих культур і дозволяє підвищити їх врожайність.

Таким чином, проведений аналіз свідчить про наявність суттєвих недоліків у традиційних і навіть сучасних технологіях вирощування овочевих культур. Впровадження мостової технології землеробства дозволяє усунути ці недоліки та значно підвищити ефективність виробництва, що обумовлює доцільність подальшого вдосконалення конструкції агромостових машин.

2.2. Особливості мостової технології землеробства

Мостова технологія землеробства [1, 20] є одним із сучасних напрямів розвитку аграрного виробництва, який базується на принципово новому підході до виконання технологічних операцій. Її сутність полягає у застосуванні спеціалізованих агромостових машин, що переміщуються по стаціонарних напрямних або рейкових коліях, розташованих по краях або вздовж поля. Така організація руху техніки дозволяє повністю виключити контакт ходових систем із оброблюваною поверхнею ґрунту.

Однією з ключових особливостей мостової технології є відсутність ущільнення ґрунту. На відміну від традиційних машинно-тракторних агрегатів, які створюють тиск на ґрунт у межах 100–200 кПа, агромостова машина передає

навантаження лише на опорні елементи, розташовані поза межами оброблюваної зони. Це дозволяє зберегти природну структуру ґрунту, його пористість і водопроникність, що позитивно впливає на розвиток кореневої системи рослин і підвищує ефективність використання вологи.

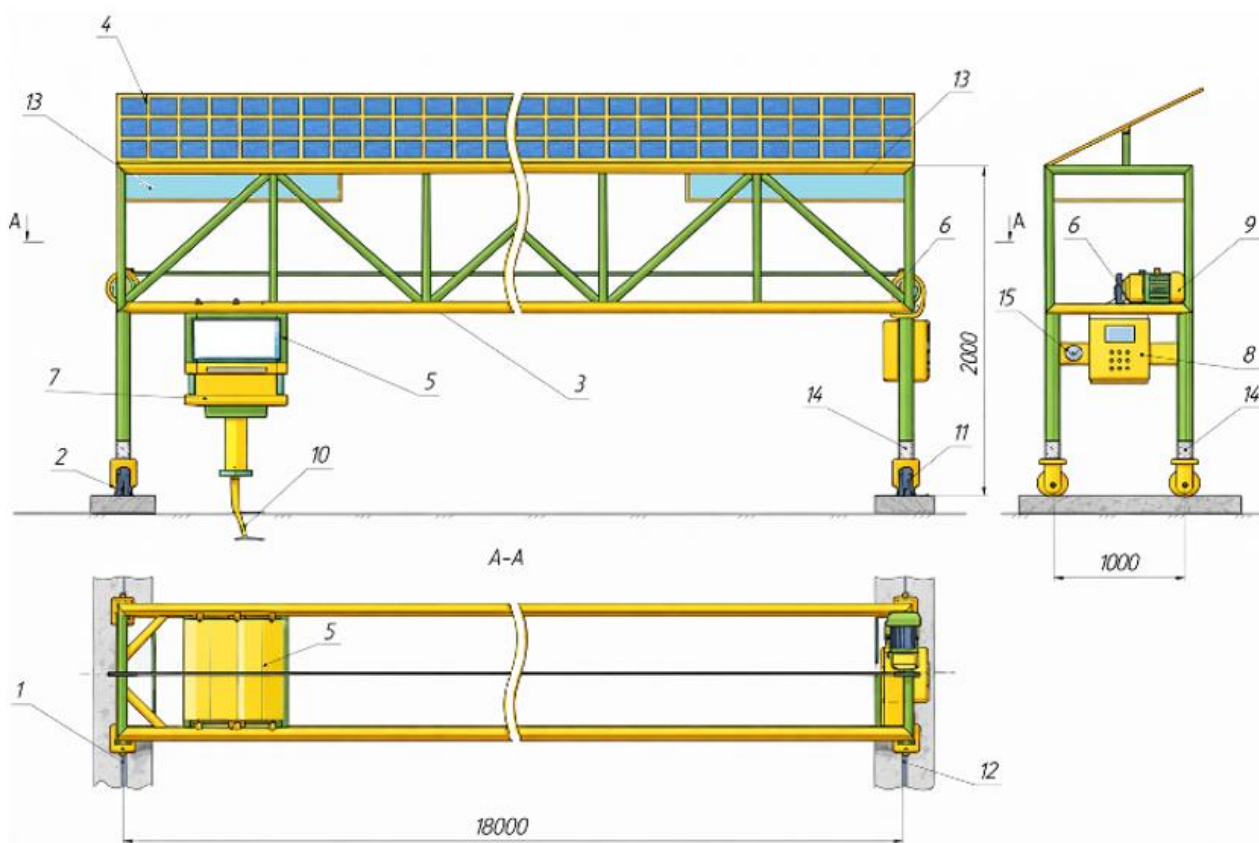
Важливою перевагою мостової технології є висока точність виконання технологічних операцій. Завдяки жорстко заданій траєкторії руху агромоста та використанню систем позиціонування точність переміщення робочих органів може досягати $\pm 1\text{--}2$ см. Це значно перевищує можливості традиційних агрегатів і створює передумови для якісного виконання таких операцій, як посів, внесення добрив і догляд за рослинами.

Особливістю мостової технології є також можливість інтеграції автоматизованих і мехатронних систем керування. Конструкція агромоста дозволяє встановлювати датчики, системи контролю та програмне забезпечення для управління технологічними процесами в режимі реального часу. Це забезпечує реалізацію принципів точного землеробства, зокрема диференційованого внесення ресурсів і моніторингу стану посівів.

Ще однією важливою характеристикою є зменшення кількості проходів техніки по полю. У традиційних технологіях кількість операцій може досягати 8–12 за сезон, тоді як при використанні агромоста цей показник знижується до 2–4. Це сприяє зменшенню витрат палива на 20–30 % та зниженню енергоємності виробництва. Конструктивно агроміст (рис. 2.4) являє собою просторову металеву ферму, яка перекриває значну ширину поля (зазвичай 12–36 м) і переміщується по напрямних. На фермі розміщується рухома каретка з робочими органами, що забезпечує виконання технологічних операцій у будь-якій точці робочої зони. Така схема дозволяє використовувати одну машину для виконання декількох технологічних процесів, що підвищує універсальність і ефективність її застосування.

Важливою складовою впровадження мостової технології є створення відповідної інфраструктури та раціональне облаштування поля. Основу

інфраструктури становлять рейкові або колійні напрямні, які забезпечують переміщення агромоста. Відстань між ними визначає робочу ширину машини та повинна витримуватися з високою точністю, оскільки від цього залежить стабільність роботи всієї системи.



1, 12 – напрямні рейки; 2, 11 – мотор-колеса; 3 – ферма агромоста; 4 – сонячні панелі 5 – каретка агромоста; 6 – ланцюгова передача; 7 – механізм агрегатування; 8 – шафа керування; 9 – електродвигун; 10 – робочий орган знаряддя; 13 – акумуляторна батарея; 14 – кроковий двигун; 15 – роз’єм зарядки батареї

Рисунок 2.4 – Конструктивна частина агромостової машини

Організація поля передбачає його поділ на агротехнічні та технологічні зони (рис. 2.5). Агротехнічні зони є основними виробничими ділянками, на яких здійснюється вирощування сільськогосподарських культур. У цих зонах повністю відсутній рух колісної техніки, що забезпечує збереження структури

грунту, підвищення його родючості та створення оптимальних умов для розвитку рослин.

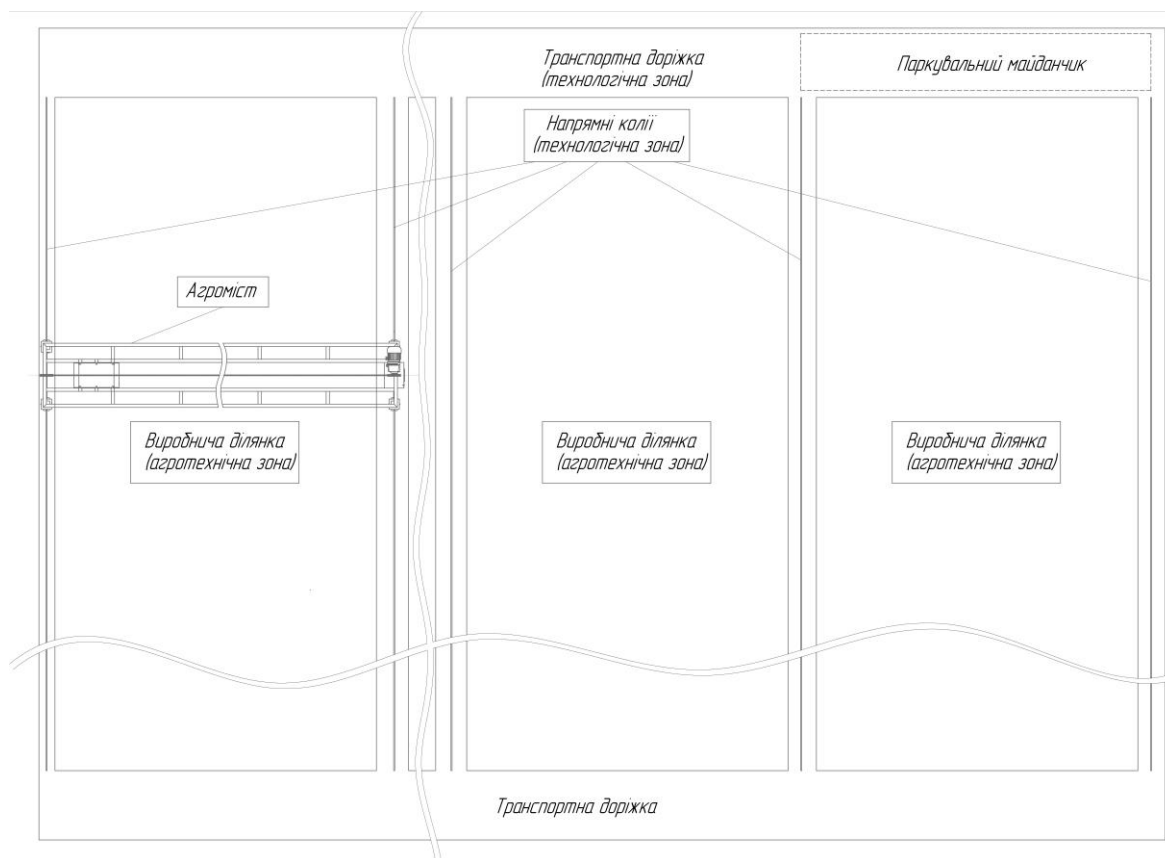


Рисунок 2.5 – Організація поля за мостової технології землеробства

Технологічні зони призначені для розміщення інфраструктурних елементів і забезпечення функціонування агромостової системи. До них належать напрямні для руху машини, сервісні майданчики, зони обслуговування та енергозабезпечення, а також під'їзні шляхи. Частка таких зон, як правило, не перевищує 5–10 % площі поля, що значно менше порівняно з традиційними технологіями, де площа ущільнених ділянок може досягати 15–25 %. Зональний принцип організації поля дозволяє впроваджувати модульний підхід до управління виробництвом, при якому кожна ділянка може оброблятися з урахуванням її індивідуальних особливостей. Це створює передумови для підвищення ефективності використання ресурсів і автоматизації технологічних процесів. Разом із перевагами мостова технологія має і певні особливості, які необхідно враховувати. До них належать потреба у створенні спеціалізованої

інфраструктури, значні початкові капіталовкладення та підвищені вимоги до точності виготовлення і монтажу конструкції.

Таким чином, мостова технологія землеробства дозволяє поєднати високу точність виконання технологічних операцій, зниження енерговитрат і збереження родючості ґрунтів. Її впровадження створює умови для підвищення ефективності виробництва, а удосконалення конструкції агромостових машин є важливим напрямом розвитку сучасної агроінженерії.

2.3. Технологічні процеси та параметри мостової технології

Мостова технологія землеробства передбачає виконання повного комплексу агротехнічних операцій за допомогою агромостової машини, яка забезпечує високу точність позиціонування робочих органів та мінімальний вплив на ґрунт [20-22]. Технологічні процеси в цій системі організовуються за принципом стаціонарної інфраструктури та рухомих виконавчих модулів, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність виробництва.

До основних технологічних процесів, які виконуються в умовах мостового землеробства, належать:

- передпосівний обробіток ґрунту;
- внесення органічних і мінеральних добрив;
- посів (висів) сільськогосподарських культур;
- догляд за посівами (міжрядний обробіток, обприскування, підживлення);
- збирання врожаю або його підготовка до збирання.

Особливістю виконання цих операцій є те, що всі вони здійснюються з однієї несучої конструкції – агромоста, на якому встановлюється змінне або універсальне робоче обладнання. Це дозволяє зменшити кількість технічних засобів і забезпечити високу точність повторюваності операцій.

Одним із ключових параметрів мостової технології є ширина прольоту агромоста, яка визначає розмір агротехнічної зони. Залежно від умов виробництва вона може становити 12–36 м, при цьому для середніх господарств найбільш раціональним є значення 18–24 м. Вибір ширини прольоту впливає на масу конструкції, енергоспоживання та продуктивність системи.

Швидкість переміщення агромоста є ще одним важливим технологічним параметром і залежить від виду виконуваної операції. Для основних процесів характерні такі значення:

- посів: 0,5–1,5 м/с (1,8–5,4 км/год);
- обробіток ґрунту: 0,3–1,0 м/с;
- обприскування: 1,0–2,0 м/с;
- переміщення без навантаження: до 2,5 м/с.

Точність позиціонування робочих органів у мостовій технології є значно вищою, ніж у традиційних системах, і може досягати ± 1 –2 см. Це забезпечується використанням жорстких напрямних, електроприводів із системами зворотного зв'язку та автоматизованих систем керування.

Важливим параметром є продуктивність агромостової машини, яка визначається за формулою:

$$Q = B \cdot v \cdot \eta \quad (2.1)$$

де: Q – продуктивність, м²/с;

B – ширина захвату, м;

v – швидкість переміщення, м/с;

η – коефіцієнт використання часу (0,7–0,9).

Для агромоста з шириною захвату 18 м і швидкістю 1 м/с продуктивність становитиме:

$$Q = 18 \times 1 \times 0,8 = 14,4 \text{ м}^2/\text{с} \text{ (або близько 5,2 га/год).}$$

Основні параметри мостових машин для мостової технології наведено в таблиці 2.2

Таблиця 2.2 – Основні технологічні параметри мостових машин в мостовій технології землеробства

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Ширина прольоту агромоста	B	м	12–36 (оптимально 18–24)
Швидкість руху (посів)	v_1	м/с	0,5–1,5
Швидкість руху (обробіток)	v_2	м/с	0,3–1,0
Швидкість руху (обприскування)	v_3	м/с	1,0–2,0
Максимальна швидкість	$v_{\max}$	м/с	до 2,5
Точність позиціонування	Δ	см	$\pm 1-2$
Кількість проходів	n	разів/сезон	2–4
Коефіцієнт використання часу	η	–	0,7–0,9
Продуктивність	Q	га/год	4–6
Енергоємність	E	кВт·год/га	800–1000
Витрати енергії	P	%	на 20–30 % менше

Енергетичні витрати при використанні мостової технології є нижчими порівняно з традиційними системами. За рахунок відсутності тягового опору ходової частини та зменшення кількості проходів техніки витрати енергії знижуються на 20–30 %. Середнє споживання енергії становить 800–1000 кВт·год/га, що є суттєво меншим порівняно з традиційними технологіями.

Особливу увагу слід приділити параметрам робочих органів, які встановлюються на каретці агромоста. Вони повинні забезпечувати:

- стабільну глибину обробітку або висіву;
- мінімальний опір руху;
- рівномірність виконання технологічної операції по всій ширині захвату.

Крім того, важливим є параметр енергозабезпечення системи. Агромости можуть працювати від електричних приводів, що живляться від акумуляторів, генераторів або від стаціонарної мережі. Використання електроприводу дозволяє підвищити ККД системи до 85–90 % і забезпечити більш точне керування рухом.

Таким чином, технологічні процеси в умовах мостового землеробства характеризуються високою точністю, зниженими енерговитратами та можливістю автоматизації. Оптимальний вибір параметрів агромостової машини є важливою умовою ефективного функціонування системи та підвищення продуктивності сільськогосподарського виробництва.

2.4. Аналіз конструкцій енергетичних засобів мостового типу

Енергетичні засоби мостового типу становлять конструктивну основу мостової технології землеробства та визначають її технічний рівень, продуктивність і енергоефективність. На відміну від традиційних машинно-тракторних агрегатів, які взаємодіють із ґрунтом через ходові системи, агромостові машини реалізують принцип рознесення функцій опори та обробітку: несуча система сприймає навантаження на крайових напрямних, тоді як робочі органи діють у межах агротехнічної зони без контакту коліс із поверхнею поля. Це принципово змінює вимоги до компоновки, жорсткості, приводу та систем керування.

Конструктивно агромости можна класифікувати за типом несучої системи, способом переміщення, типом приводу та організацією робочого

обладнання. Найбільш поширеними є порталні (рамні), ферменні, модульні (секційні) та канатно-підвісні рішення, кожне з яких має власні області доцільного застосування та обмеження.

Порталні (рамні) агромети (рис. 2.6) виконуються у вигляді жорсткої рами з двома або чотирма опорами, що переміщуються по напрямних. Перевагами є простота виготовлення, відносно невелика маса та висока ремонтпридатність. Такі системи доцільні для невеликих прольотів (як правило, до 12–18 м) і робіт, де не потрібні великі вильоти каретки. Разом із тим при збільшенні прольоту різко зростають прогини та динамічні коливання, що погіршує точність позиціонування робочих органів і вимагає підсилення перерізів, а отже – збільшення металоємності.



а



б

Рисунок 2.6 – Порталні агромети (а) та трактори (б)

Ферменні агромети (рис. 2.7) є найбільш технологічно доцільними для середніх і великих прольотів (18–36 м і більше). Просторова або плоска ферма забезпечує високу жорсткість при відносно невеликій масі за рахунок раціонального розподілу матеріалу по висоті перерізу. Це дозволяє зменшити прогини, підвищити власні частоти коливань і, відповідно, стабільність роботи каретки. Ферменні схеми зручні для інтеграції кабель-каналів, датчиків, шин живлення та вузлів кріплення змінних модулів. Недоліками є складніша технологія виготовлення, підвищені вимоги до точності складання та контролю геометрії під час монтажу.



Рисунок 2.7 – Ферменні агромости

Модульні (секційні) агромости (рис. 2.8) складаються з уніфікованих секцій, що стикаються між собою болтовими або комбінованими з'єднаннями. Така архітектура спрощує транспортування, дає змогу змінювати довжину прольоту та швидко адаптувати систему під конфігурацію поля. Водночас стикові вузли є потенційними зонами зниження жорсткості, тому потребують спеціальних підсилювальних елементів і контролю затягування, щоб уникнути накопичення люфтів і вібрацій.

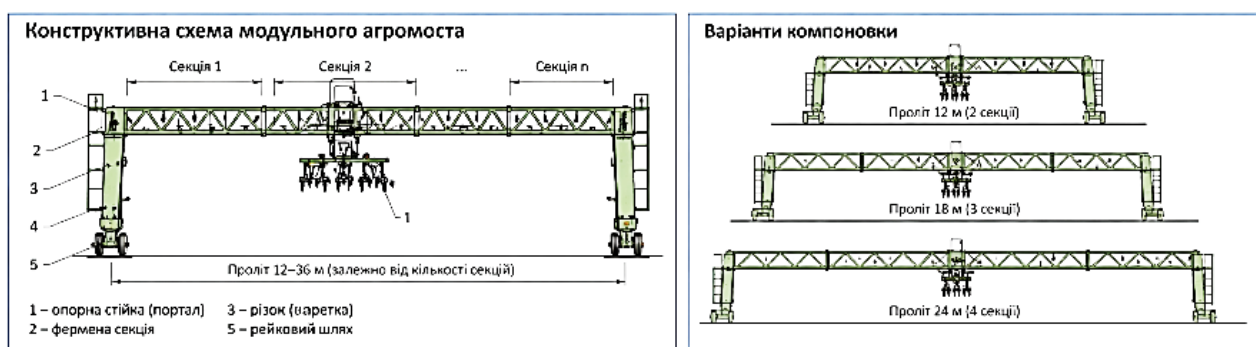


Рисунок 2.8 – Модульні агромости

Канатно-підвісні системи (рис. 2.9) використовують гнучкі несучі елементи (троси), що істотно зменшує масу конструкції та навантаження на опори. Проте така схема є чутливою до вітрових впливів і має обмежену точність

позиціонування через коливання, тому застосовується переважно для допоміжних операцій або в умовах, де вимоги до точності нижчі.



Рисунок 2.9 - Канатно-підвісні агромости

За типом приводу виділяють електричні, гідравлічні та комбіновані системи. Сучасна тенденція – перехід до електроприводу з частотним керуванням, який забезпечує ККД на рівні 85–90 %, точне регулювання швидкості, можливість рекуперації енергії під час гальмування та просту інтеграцію з системами автоматизації. Гідроприводи зберігають актуальність у вузлах із високими питомими навантаженнями, однак поступаються за енергоефективністю і складніші в обслуговуванні. Комбіновані схеми дозволяють оптимально розподілити функції між електричною та гідравлічною підсистемами, але ускладнюють загальну компоновку.

Ключовим вузлом є система переміщення, що включає ходові візки, напрямні (рейки/колії), редуктори та виконавчі електродвигуни. Вона повинна забезпечувати рівномірний рух без ривків, синхронізацію лівої та правої опор, а також мінімальні втрати на тертя. Важливими є точність укладання напрямних (планова та висотна), жорсткість їх кріплення до основи та стабільність геометрії впродовж сезону. Невідповідність цих параметрів призводить до

перекосів, додаткових навантажень у вузлах і зниження точності виконання операцій.

Не менш важливою є система каретки – рухомого модуля, який переміщується вздовж прольоту та несе робочі органи. Від її маси, приводу (зубчасті рейки, троси, ланцюги), жорсткості підвісу та системи стабілізації залежить точність позиціонування (у межах $\pm 1\text{--}2$ см) і якість виконання технологічних операцій. Для підвищення стабільності застосовують енкодери, лінійні датчики положення, інерційні модулі та алгоритми компенсації коливань.

Аналіз існуючих конструкцій показує, що до основних обмежень належать:

- металоємність при збільшенні прольоту, що підвищує енерговитрати на переміщення;
- деформації та коливання несучої системи, які погіршують точність;
- втрати в приводі та системі руху, особливо при неузгодженій роботі опор;
- складність інфраструктури (напрявні, енергоживлення), що вимагає точного монтажу і сервісу;
- обмежена універсальність без застосування змінних модулів.

З огляду на тему роботи, ключовим напрямом є удосконалення ферменної конструкції агромошта з оптимізацією перерізів (перехід до замкнених тонкостінних профілів), зниженням маси при збереженні жорсткості, впровадженням електроприводів із частотним регулюванням та систем синхронізації опор. Доцільним є також застосування модульного принципу для спрощення транспортування і монтажу, а в зоні каретки – використання легких, але жорстких підвісів із демпфуванням коливань.

Таким чином, порівняльний аналіз показує, що ферменні агромошти з електричним приводом і модульною архітектурою забезпечують найкраще поєднання жорсткості, маси, точності та енергоефективності. Подальше

вдосконалення їх конструкції – за рахунок оптимізації геометрії, приводів і систем керування – є ключем до підвищення ефективності використання мостової технології землеробства.

2.5. Висновки

1. Проведено аналіз існуючих технологій вирощування овочевих культур та встановлено, що традиційні й інтенсивні системи характеризуються значними енерговитратами, недостатньою точністю та ущільненням ґрунту. Технології точного землеробства підвищують точність, однак повністю не усувають негативного впливу техніки на ґрунт.

2. Доведено, що перспективною є мостова технологія землеробства, яка забезпечує відсутність ущільнення ґрунту, високу точність виконання операцій і можливість автоматизації. Важливе значення має раціональна організація поля та правильний вибір технологічних параметрів агромота.

3. Аналіз конструкцій показав, що найбільш ефективними є ферменні агромоти з електричним приводом. Разом із тим існуючі рішення потребують удосконалення, що обумовлює доцільність подальшої розробки конструкції агромота.

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Удосконалення конструкції несучої ферми агромоста

У результаті проведеного аналізу існуючих конструкцій агромостових машин встановлено, що, незважаючи на їх перспективність, вони мають ряд суттєвих недоліків, які обмежують ефективність використання мостової технології землеробства. До основних проблем належать значна металоємність ферменних конструкцій, складність їх виготовлення та монтажу, велика кількість зварних вузлів, що виступають концентраторами напружень, недостатня стійкість до крутильних деформацій при дії нерівномірного навантаження, а також підвищені енерговитрати під час переміщення конструкції по напрямних. Крім того, у більшості існуючих рішень відсутня раціональна інтеграція енергетичних систем, що ускладнює застосування автономних джерел живлення та сучасних систем керування.

Аналіз також показав, що у ферменних агромостах спостерігаються значні деформації при переміщенні каретки з робочими органами, особливо у випадках асиметричного навантаження. Це призводить до зниження точності виконання технологічних операцій, що є критичним для систем точного землеробства. Окрім цього, складність геометрії ферменних конструкцій ускладнює їх транспортування, монтаж та технічне обслуговування, що підвищує загальні витрати на експлуатацію.

З метою усунення зазначених недоліків у даній роботі запропоновано удосконалену конструкцію агромоста, загальний вигляд якої наведено на рисунку 3.1. Основною ідеєю удосконалення є перехід від складної ферменної системи до спрощеної, але достатньо жорсткої конструкції з використанням стандартних прокатних профілів.

Несуча система агромоста виконана у вигляді двох двотаврових профілів 1, зварених між собою у єдину просторово-жорстку конструкцію. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективну роботу балки на згин, а також значно

підвищити її крутильну жорсткість порівняно з одиночним профілем. Зварювання двотаврів між собою із застосуванням поперечних ребер жорсткості забезпечує рівномірний розподіл напружень та запобігає виникненню локальних деформацій. У результаті цього конструкція стає більш стійкою до динамічних навантажень, які виникають під час руху каретки.

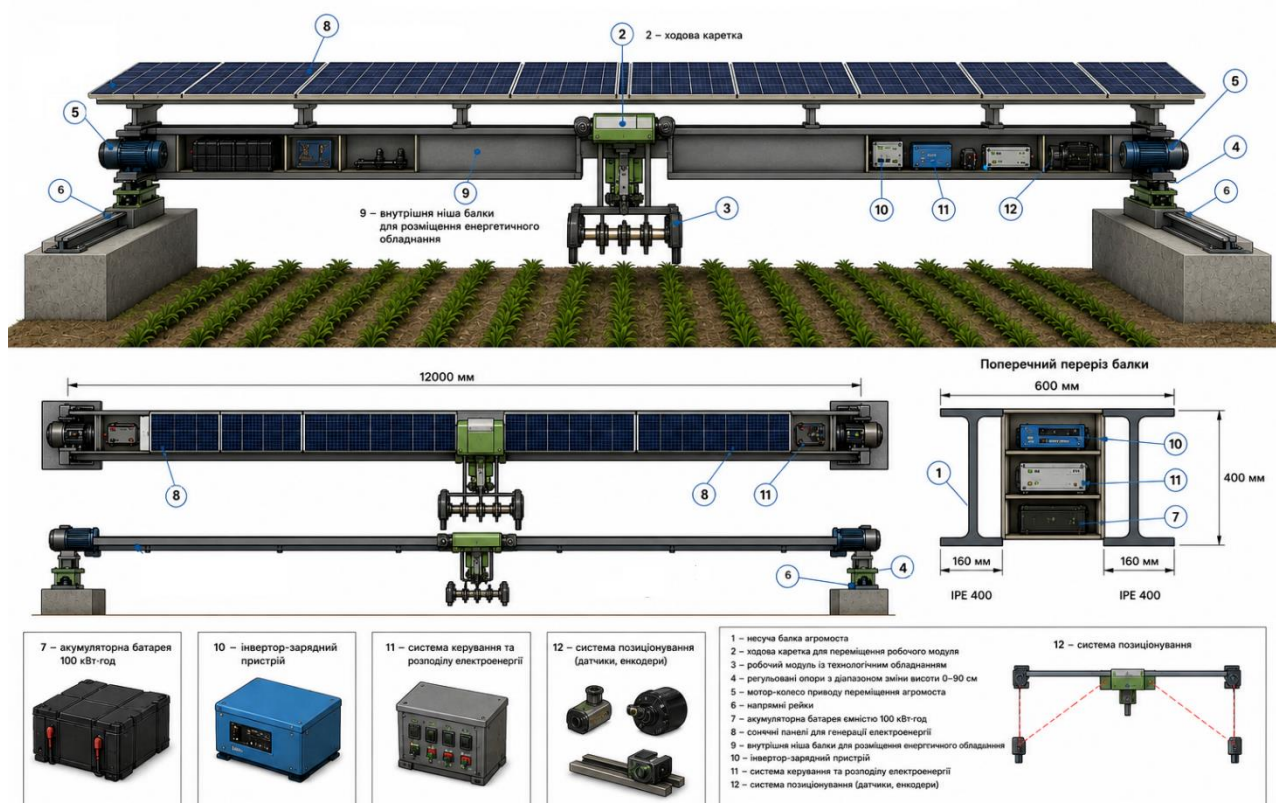


Рисунок 3.1 – Удосконалена конструкція агромостової машини з двотавровою балкою та автономною системою енергозабезпечення:

- 1 – несуча балка агромошта; 2 – ходова каретка для переміщення робочого модуля; 3 – робочий модуль із технологічним обладнанням; 4 – опори; 5 – мотор-колесо приводу переміщення агромошта; 6 – напрямні рейки; 7 – акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год; 8 – сонячні панелі для генерації електроенергії; 9 – внутрішня ніша балки для розміщення енергетичного обладнання; 10 – інвертор-зарядний пристрій; 11 – система керування та розподілу електроенергії; 12 – система позиціонування (датчики, енкодери).

Верхня частина балки використовується виключно для розміщення сонячних панелей 8, що дозволяє максимально ефективно використовувати доступну площу для генерації електроенергії. Це рішення спрямоване на підвищення енергоефективності системи та зменшення залежності від зовнішніх джерел живлення. Використання сонячних панелей у поєднанні з акумуляторною системою дозволяє забезпечити автономну роботу агромота протягом тривалого часу.

Внутрішній об'єм балки використано як функціональну нішу 2 для розміщення основних елементів енергетичної системи. У цій ніші встановлюються акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год 9, інвертор-зарядний пристрій 10, а також система керування і розподілу електроенергії 11. Таке конструктивне рішення дозволяє не лише захистити обладнання від зовнішніх впливів, але й оптимізувати масове розміщення елементів, знизити втрати електроенергії в кабельних лініях та підвищити загальну надійність системи.

Переміщення робочого обладнання здійснюється за допомогою ходової каретки 3, яка взаємодіє з двотавровою балкою через систему роликів. Каретка охоплює полиці двотаврів, що забезпечує її фіксацію у вертикальній і горизонтальній площинах. Наявність верхніх, нижніх і бокових роликів дозволяє виключити можливість сходження каретки з балки та забезпечити стабільний і плавний рух. Така конструкція дозволяє зменшити вібрації, підвищити точність позиціонування і знизити зношування вузлів.

Навантаження від каретки разом із робочим обладнанням становить приблизно 500 кг 4, що враховується при виборі профілю балки та виконанні розрахунків на міцність і жорсткість. Завдяки застосуванню здвоєного двотавра це навантаження рівномірно розподіляється по конструкції, що дозволяє зменшити напруження та прогини.

Опори агромота виконані нерегульованими 4 з постійним значенням висоти 1,1 м.

Переміщення агромоста по полю здійснюється за допомогою мотор-колів 5, які рухаються по спрощеній рейковій напрямній системі. Напрямні виконані у вигляді одного двотаврового профілю з кожного боку, що значно зменшує матеріаломісткість та спрощує монтаж інфраструктури.

Для забезпечення переходу між загінками застосовано поперечні напрямні, які встановлюються в кінці гону. Це дозволяє агромосту автоматично переміщатися на сусідні ділянки без використання додаткових транспортних засобів.

Система позиціонування 12 включає сучасні датчики, енкодери та навігаційні модулі, що забезпечують точність переміщення робочих органів у межах $\pm 1\text{--}2$ см. Це дозволяє реалізувати технології точного землеробства та підвищити ефективність використання ресурсів.

Таким чином, запропонована конструкція агромоста дозволяє комплексно вирішити основні проблеми існуючих рішень. Вона забезпечує зменшення маси конструкції, підвищення її жорсткості та точності, спрощення виготовлення і монтажу, а також інтеграцію автономної системи енергозабезпечення. Це створює передумови для підвищення ефективності використання мостової технології землеробства та її широкого впровадження у сучасному сільськогосподарському виробництві.

Для обґрунтування прийнятих конструктивних рішень та виконання подальших розрахунків визначено основні геометричні, силові та енергетичні параметри агромостової машини. Узагальнені значення цих параметрів, які враховують умови експлуатації, навантаження від робочого обладнання та особливості конструкції, наведено в таблиці 3.1. Представлені дані є вихідними для розрахунків на міцність і жорсткість несучої балки, а також для визначення енергетичних характеристик системи приводу та елементів ходової частини.

Таблиця 3.1 – Основні параметри агромоста, прийняті для розрахунків

Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Проліт агромоста	L	м	12
Тип балки	—	—	2 двотаври
Тип профілю	—	—	IPE 400 (S355)
Висота балки	h	мм	400
Ширина балки	b	мм	600
Крок ребер жорсткості	l	мм	1000–1500
Навантаження від каретки	P	кг	500
Швидкість руху каретки	v ₁	м/с	0,5–1,5
Швидкість руху агромоста	v ₂	м/с	до 2,5
Діапазон регулювання висоти опор	H	см	0–90
Тип приводу	—	—	електричний
Напруга живлення	U	В	380
Ємність акумуляторної батареї	C	кВт·год	100
Потужність сонячних панелей	N	кВт	10–15
Точність позиціонування	Δ	см	±1–2

3.2. Розрахунки на міцність та жорсткість удосконаленої конструкції

Удосконалена конструкція агромоста повинна забезпечувати надійну роботу в умовах змінних навантажень, що виникають під час переміщення каретки з робочим обладнанням. Основним несучим елементом є балка, виконана у вигляді двох двотаврових профілів, зварених між собою. Така схема

дозволяє поєднати простоту виготовлення з достатньою жорсткістю та міцністю конструкції.

Метою даного розрахунку за загально прийнятими методиками [23-27] є визначення напружено-деформованого стану балки агромоста, а саме: опорних реакцій, згинального моменту, напружень, прогину, відносного прогину, кривизни та кута повороту перерізу. Це дозволяє оцінити міцність і жорсткість конструкції та перевірити її відповідність умовам експлуатації.

Особливістю прийнятої конструкції є те, що двотаври не зварюються між собою суцільно по всій площині, а рознесені на відстань і з'єднані поперечними перемичками. Це дозволяє зберегти простоту виготовлення, забезпечити зручне переміщення каретки по нижніх полицях двотаврів та підвищити стійкість балки до перекосів. При цьому необхідно враховувати, що рознесення двотаврів суттєво покращує просторову та крутильну жорсткість конструкції, однак для вертикального згину основним параметром залишається сумарний момент інерції двох профілів.

Вихідні дані для розрахунку

Приймаємо такі вихідні дані:

$L = 12$ м – проліт балки агромоста;

$P = 5000$ Н – навантаження від каретки з робочим модулем;

$E = 2,1 \cdot 10^{11}$ Па – модуль пружності сталі;

$I_0 = 2,38 \cdot 10^{-5}$ м⁴ – момент інерції одного двотавра ІРЕ 400;

$W_0 = 1,19 \cdot 10^{-3}$ м³ – момент опору одного двотавра ІРЕ 400;

$m_0 = 66$ кг/м – маса одного двотавра ІРЕ 400;

$m_{\text{пер}} = 15$ кг/м – приведена маса поперечних перемичок;

$m_{\text{пан}} = 200$ кг – орієнтовна маса сонячних панелей;

$m_{\text{бат}} = 900$ кг – маса акумуляторної батареї, інвертора, зарядного пристрою та енергетичного обладнання;

$a = 1,5$ м – відстань від опори до місця розміщення акумуляторної батареї.

Розрахункова схема балки, наведена на рисунку 3.2. Балка розглядається як двохопорна з зосередженим навантаженням у середині прольоту, що відповідає роботі каретки масою до 500 кг.

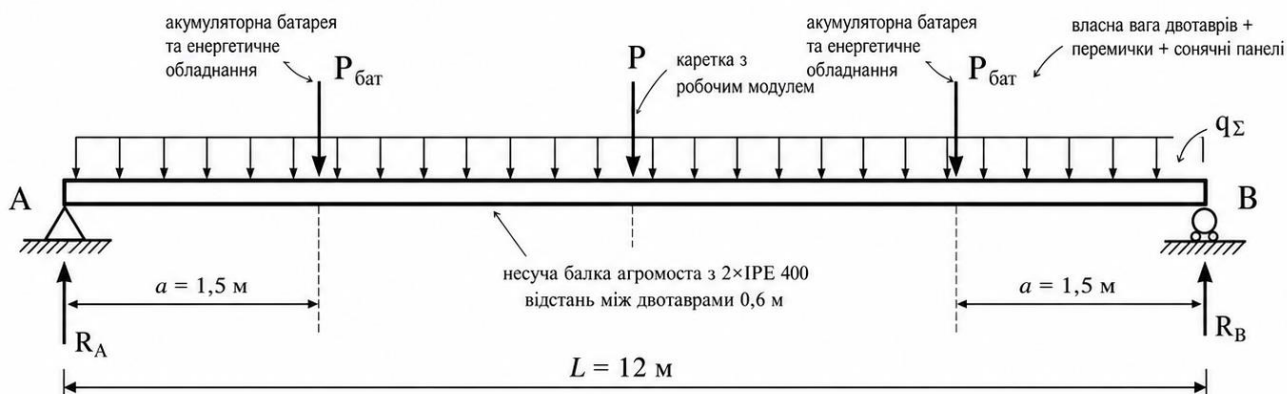


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема агромота

Під час розрахунку враховуємо такі навантаження: зосереджене навантаження від ходової каретки з робочим модулем, власну вагу двотаврів, масу поперечних перемичок, вагу сонячних панелей та навантаження від акумуляторної батареї з енергетичним обладнанням. Акумуляторну батарею доцільно розміщувати не в середині прольоту, а ближче до опор, оскільки таке компонування дозволяє зменшити згинальний момент і прогин балки.

Визначення рівномірно розподіленого навантаження від власної ваги двотаврів

Спочатку визначаємо навантаження від власної ваги двох двотаврових профілів. Це навантаження діє по всій довжині балки та розглядається як рівномірно розподілене.

$$q_6 = 2 \cdot m_0 \cdot g \quad (3.1)$$

де q_6 – рівномірно розподілене навантаження від власної ваги двотаврів, Н/м;

m_0 – маса одного двотавра, кг/м;

g – прискорення вільного падіння, м/с².

$$q_6 = 2 \cdot 66 \cdot 9,81 = 1295 \text{ Н/м}$$

Визначення навантаження від поперечних перемичок

Поперечні перемички з'єднують два двотаври між собою та забезпечують спільну роботу балки. Їх масу також враховуємо як рівномірно розподілене навантаження.

$$q_{\text{пер}} = m_{\text{пер}} \cdot g \quad \{3.2\}$$

де $q_{\text{пер}}$ – навантаження від поперечних перемичок, Н/м;

$m_{\text{пер}}$ – приведена маса перемичок на один метр довжини балки, кг/м.

$$q_{\text{пер}} = 15 \cdot 9,81 = 147 \text{ Н/м}$$

Визначення навантаження від сонячних панелей

Сонячні панелі розміщуються у верхній частині балки по всій її довжині, тому їхню вагу також доцільно враховувати як рівномірно розподілене навантаження.

$$q_{\text{пан}} = \frac{m_{\text{пан}} \cdot g}{L} \quad \{3.3\}$$

де $q_{\text{пан}}$ – рівномірно розподілене навантаження від сонячних панелей, Н/м;

$m_{\text{пан}}$ – маса сонячних панелей, кг;

L – довжина балки, м.

$$q_{\text{пан}} = \frac{200 \cdot 9,81}{12} = 164 \text{ Н/м.}$$

Визначення сумарного рівномірно розподіленого навантаження

Загальне рівномірно розподілене навантаження складається з власної ваги двотаврів, маси поперечних перемичок та маси сонячних панелей.

$$q_{\Sigma} = q_6 + q_{\text{пер}} + q_{\text{пан}} \quad \{3.4\}$$

$$q_{\Sigma} = 1295 + 147 + 164 = 1606 \text{ Н/м}$$

Отже, для подальших розрахунків приймаємо: $q_{\Sigma} = 1600 \text{ Н}$

Визначення навантаження від акумуляторної батареї та енергетичного обладнання

Акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год разом з інвертором, зарядним пристроєм і системою керування створює додаткове зосереджене навантаження. Для зменшення згинального моменту це обладнання розміщуємо ближче до опор, а не в центрі балки. Приймаємо, що маса енергетичного обладнання поділена на дві частини і розташована біля обох опор.

$$P_{\text{бат}} = \frac{m_{\text{бат}} \cdot g}{2} \quad (3.5)$$

де $P_{\text{бат}}$ – навантаження від однієї частини акумуляторної системи, Н;

$m_{\text{бат}}$ – загальна маса акумуляторної батареї та енергетичного обладнання, кг.

$$P_{\text{бат}} = \frac{900 \cdot 9,81}{2} = 4414 \text{ Н}$$

Для спрощення подальших розрахунків приймаємо:

$$P_{\text{бат}} = 4500 \text{ Н}$$

Визначення розрахункового моменту інерції балки

Оскільки балка складається з двох паралельних двотаврів, для вертикального згину її момент інерції визначається як сума моментів інерції двох профілів. Рознесення двотаврів на ширину 600 мм у першу чергу підвищує просторову та крутильну жорсткість, а також забезпечує зручність розміщення каретки.

$$I_{\Sigma} = 2 \cdot I_0 \quad (3.6)$$

де I_{Σ} – сумарний момент інерції балки, м⁴;

I_0 – момент інерції одного двотаврового профілю, м⁴.

$$I_{\Sigma} = 2 \cdot 2,38 \cdot 10^{-5} = 4,76 \cdot 10^{-5} \text{ м}^4$$

Визначення сумарного моменту опору перерізу

Для перевірки міцності балки необхідно визначити сумарний момент опору перерізу.

$$W_{\Sigma} = 2 \cdot W_0 \quad (3.7)$$

де W_{Σ} – сумарний момент опору балки, м^3 ;

W_0 – момент опору одного двотавра, м^3 .

$$W_{\Sigma} = 2 \cdot 1,19 \cdot 10^{-3} = 2,38 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Визначення згинального моменту від каретки з робочим модулем

Каретка з робочим модулем створює зосереджене навантаження в середині прольоту. Саме це положення є найбільш несприятливим, тому його приймаємо для розрахунку.

$$M_P = \frac{P \cdot L}{4} \quad (3.8)$$

де M_P – згинальний момент від навантаження каретки, $\text{Н} \cdot \text{м}$;

P – зосереджене навантаження від каретки, Н ;

L – проліт балки, м .

$$M_P = \frac{5000 \cdot 12}{4} = 15000 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Визначення згинального моменту від рівномірно розподіленого навантаження

Рівномірно розподілене навантаження від власної ваги балки, перемичок і сонячних панелей створює згинальний момент у середині прольоту.

$$M_q = \frac{q_{\Sigma} \cdot L^2}{8} = \frac{1600 \cdot 12^2}{8} = 28800 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.9)$$

де M_q – згинальний момент від рівномірно розподіленого навантаження, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Визначення згинального моменту від акумуляторної батареї

Оскільки акумуляторна батарея розміщується ближче до опор, її вплив на згинальний момент менший, ніж у випадку розміщення в центрі прольоту. Для навантаження, розташованого на відстані a від опори, момент визначаємо за формулою:

$$M_{\text{бат}} = P_{\text{бат}} \cdot a \quad (3.10)$$

де $M_{\text{бат}}$ – згинальний момент від однієї частини акумуляторної батареї, Н·м;

$P_{\text{бат}}$ – зосереджене навантаження від батареї біля опори, Н;

a – відстань від опори до місця встановлення батареї, м.

$$M_{\text{бат}} = 4500 \cdot 1,5 = 6750 \text{ Н·м}$$

Визначення сумарного максимального згинального моменту

Сумарний згинальний момент у небезпечному перерізі визначаємо як суму моментів від каретки, рівномірно розподіленого навантаження та акумуляторної батареї.

$$M_{\Sigma} = M_P + M_q + M_{\text{бат}} \quad (3.11)$$

$$M_{\Sigma} = 15000 + 28800 + 6750 = 50550 \text{ Н·м}$$

Визначення нормальних напружень згину

Для перевірки міцності визначаємо максимальні нормальні напруження в балці. Вони залежать від сумарного згинального моменту та моменту опору перерізу.

$$\sigma = \frac{M_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} = \frac{50550}{2,38 \cdot 10^{-3}} = 21,2 \cdot 10^6 \text{ Па} = 21,2 \text{ МПа} \quad (3.12)$$

де σ – нормальне напруження згину, Па;

M_{Σ} – сумарний згинальний момент, Н·м;

W_{Σ} – сумарний момент опору перерізу, м³.

Для сталі S355 допустиме напруження приймаємо:

$$[\sigma] = 230 \text{ МПа}$$

Оскільки: $21,2 < 230$ умова міцності виконується.

Визначення коефіцієнта запасу міцності

Для кількісної оцінки надійності конструкції визначаємо коефіцієнт запасу міцності.

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma} = \frac{230}{21,2} = 10,8 \quad (3.13)$$

Отримане значення свідчить про значний запас міцності балки.

Визначення прогину від каретки

Для оцінки жорсткості спочатку визначаємо прогин від зосередженого навантаження, що діє в центрі прольоту.

$$f_P = \frac{P \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I_{\Sigma}} = \frac{5000 \cdot 12^3}{48 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,76 \cdot 10^{-5}} = 0,011 \text{ м} = 11 \text{ мм} \quad (3.14)$$

Визначення прогину від рівномірно розподіленого навантаження

Далі визначаємо прогин від власної ваги балки, перемичок і сонячних панелей.

$$f_q = \frac{5 \cdot q_{\Sigma} \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{\Sigma}} = \frac{5 \cdot 1600 \cdot 12^4}{384 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,76 \cdot 10^{-5}} = 0,019 \text{ м} = 19 \text{ мм} \quad (3.15)$$

Визначення прогину від акумуляторної батареї

Для двох симетрично розміщених навантажень біля опор максимальний прогин у середині прольоту визначаємо за залежністю:

$$f_{\text{бат}} = \frac{P_{\text{бат}} \cdot a}{E \cdot I_{\Sigma}} \left(\frac{L^2}{8} - \frac{a^2}{6} \right) \quad (3.16)$$

де $f_{\text{бат}}$ – прогин у середині прольоту від двох симетрично розміщених акумуляторних блоків, м;

$P_{\text{бат}}$ – навантаження від одного акумуляторного блоку, Н;

a – відстань від опори до батареї, м.

$$f_{\text{бат}} = \frac{4500 \cdot 1,5}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,76 \cdot 10^{-5}} \left(\frac{12^2}{8} - \frac{1,5^2}{6} \right) = 0,08 \text{ м} = 8 \text{ мм}$$

Визначення сумарного прогину балки

Загальний прогин балки визначаємо як суму прогинів від усіх навантажень.

$$f_{\Sigma} = f_P + f_q + f_{\text{бат}} \quad (3.17)$$

$$f_{\Sigma} = 11 + 19 + 8 = 38 \text{ мм}$$

Перевірка умови жорсткості

Допустимий прогин для балки приймаємо за умовою:

$$[f] = \frac{L}{300} = \frac{12000}{300} = 40 \text{ мм} \quad (3.18)$$

Порівнюємо фактичний і допустимий прогини:

$$f_{\Sigma} = 38 \text{ мм} < [f] = 40 \text{ мм}$$

Отже, за суворою умовою $L/300$ балка задовольняє вимогу жорсткості.

Визначення відносного прогину

Для додаткової оцінки жорсткості визначаємо відносний прогин балки.

$$\delta = \frac{f_{\Sigma}}{L} = \frac{0,038}{12} = 0,0031 \quad (3.19)$$

Допустиме значення:

$$\delta_{\text{доп}} = \frac{1}{300} = 0,0033$$

Оскільки $0,0031 < 0,0033$, умова жорсткості балки виконується.

Визначення коефіцієнта запасу жорсткості

Коефіцієнт запасу жорсткості показує, у скільки разів допустимий прогин більший або менший за фактичний.

$$k_{\text{ж}} = \frac{[f]}{f_{\Sigma}} = \frac{40}{38} = 1,05 \quad (3.20)$$

Оскільки $k_{\text{ж}} > 1$, конструкція має достатній запас жорсткості за прийнятою умовою $L/300$.

Визначення кривизни балки

Кривизна балки характеризує інтенсивність її вигину в небезпечному перерізі.

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M_{\Sigma}}{E \cdot I_{\Sigma}} = \frac{50550}{2,1 \cdot 10^{11} \cdot 4,76 \cdot 10^{-5}} = 5,05 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1} \quad (3.21)$$

Отримане значення свідчить про те, що основним обмежуючим фактором є не міцність, а жорсткість конструкції.

Визначення кута повороту перерізу

Кут повороту перерізу дозволяє оцінити можливі перекоси балки, які можуть впливати на роботу ходової каретки.

$$\theta_{\Sigma} = \frac{P \cdot L^2}{16EI_{\Sigma}} + \frac{q_{\Sigma} \cdot L^3}{24EI_{\Sigma}} + \frac{P_{\text{бат}} \cdot a \cdot (L - a)}{2EI_{\Sigma}} \quad (3.22)$$

У градусах:

$$\theta_{\Sigma} = 1,14^{\circ}$$

Отриманий кут повороту є відносно невеликим, однак при роботі систем точного землеробства його необхідно враховувати під час налаштування системи позиціонування каретки. Графічно результати розрахунків зображено на рис 3.3.

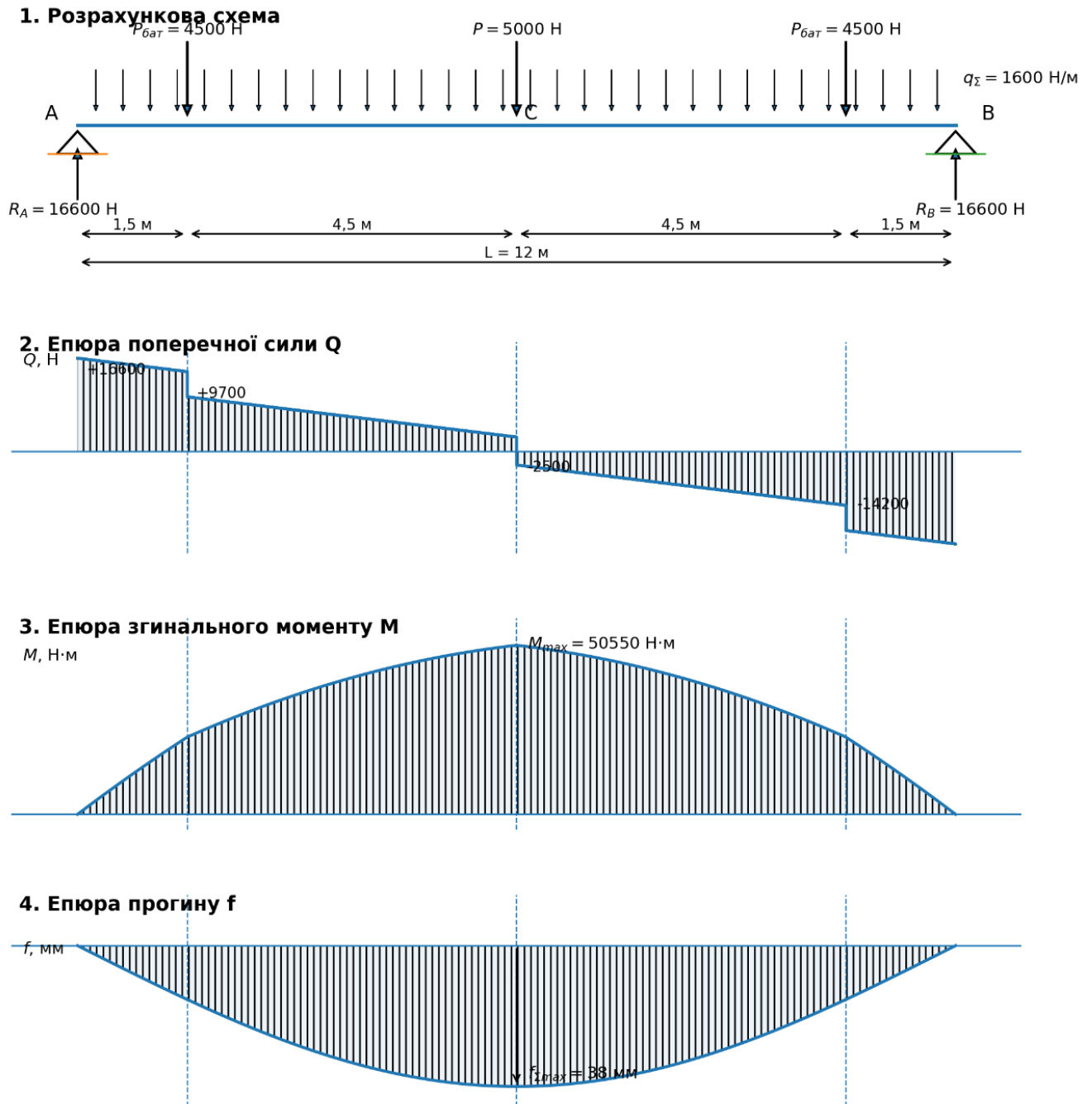


Рисунок 3.3 - Розрахункові епюри агромоста

Проведений розрахунок показав, що удосконалена балка агромошта з двох рознесених двотаврових профілів IPE 400 має значний запас міцності. Максимальне напруження становить 21,2 МПа, що значно менше допустимого для сталі S355. Коефіцієнт запасу міцності дорівнює 10,8, тобто за міцністю конструкція є достатньо надійною.

Разом із тим розрахунок з урахуванням власної ваги балки, поперечних перемичок, сонячних панелей та акумуляторного обладнання показав, що фактичний прогин становить 38 мм, що не перевищує допустиме значення 40 мм за умовою $L/300$. Отже, умови міцності виконано, Основним обмежуючим фактором, як показали розрахунки є жорсткість конструкції умови якої виконано.

3.3. Розрахунок опор агромошта

У запропонованій конструкції агромошта прийнято чотири опори постійної висоти 1,1 м, які розміщуються попарно з кожного боку несучої балки. Таке рішення дозволяє підвищити стійкість машини, зменшити навантаження на кожен окрему опору та спростити конструкцію порівняно з регульованими опорами. Відмова від механізму зміни висоти також зменшує масу, вартість виготовлення та кількість вузлів, які потребують технічного обслуговування.

Основним завданням розрахунку є визначення загальної ваги агромошта, навантаження на одну опору, перевірка опори на стиск та оцінка її стійкості. Опори сприймають навантаження від несучої балки, поперечних перемичок, сонячних панелей, акумуляторної батареї, ходової каретки та робочого модуля. Схема розміщення опор наведена на рисунку 3.1.

Для розрахунку приймаємо вихідні дані наведені в додатку Б.

Спочатку визначаємо масу несучої балки, виконаної з двох двотаврів. Цей показник потрібний для подальшого визначення загальної ваги конструкції, яка передається на опори:

$$m_{\text{б}} = n_{\text{б}} \cdot m_0 \cdot L \quad (3.23)$$

$$m_{\text{б}} = 2 \cdot 66 \cdot 12 = 1584 \text{ кг}$$

Далі визначаємо масу поперечних перемичок, які з'єднують два двотаври між собою та забезпечують просторову жорсткість балки. Їх масу враховуємо як приведену по довжині балки:

Загальну масу агромота визначаємо як суму маси несучої балки, перемичок, сонячних панелей, акумуляторної батареї з електрообладнанням та ходової каретки з робочим модулем. Дані підставляємо з попереднього пункту:

$$m_{\Sigma} = m_{\text{б}} + m_{\text{пер}} + m_{\text{пан}} + m_{\text{бат}} + m_{\text{к}} \quad (3.24)$$

$$m_{\Sigma} = 1584 + 180 + 200 + 900 + 500 = 3364 \text{ кг}$$

Вагу всієї конструкції визначаємо через добуток маси на прискорення вільного падіння. Це навантаження є основним для розрахунку опор на стиск:

$$G_{\Sigma} = m_{\Sigma} \cdot g \quad (3.25)$$

де G_{Σ} – вага конструкції, Н;

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

$$G_{\Sigma} = 3364 \cdot 9,81 = 33001 \text{ Н}$$

Отже, загальна вага агромота становить приблизно:

$$G_{\Sigma} \approx 33,0 \text{ кН}$$

Оскільки в удосконаленій конструкції використовується чотири опори, навантаження на одну опору визначаємо діленням загальної ваги конструкції на кількість опор:

$$G_{\text{оп}} = \frac{G_{\Sigma}}{n_{\text{оп}}} \quad (3.26)$$

де $G_{\text{оп}}$ – вертикальне навантаження на одну опору, Н;

$n_{\text{оп}}$ – кількість опор.

$$G_{\text{оп}} = \frac{33001}{4} = 8250 \text{ Н}$$

Отже, на одну опору діє навантаження приблизно: $G_{\text{оп}}=8,25 \text{ кН}$

Для врахування динамічних навантажень, які можуть виникати під час руху агромота по напрямних рейках, приймаємо коефіцієнт динамічності $k_d=1,3$. Тоді розрахункове навантаження на одну опору становитиме:

$$G_{\text{роз}} = G_{\text{оп}} \cdot k_d \quad (3.27)$$

де $G_{\text{роз}}$ – розрахункове навантаження на одну опору, Н;

k_d – коефіцієнт динамічності.

$$G_{\text{роз}} = 8250 \cdot 1,3 = 10725 \text{ Н}$$

Для опори приймаємо сталеву профільну трубу квадратного перерізу $80 \times 80 \times 580 \times 580 \times 5$ мм зі сталі S355. Такий профіль має достатню несучу здатність, простий у виготовленні та добре підходить для зварних рамних конструкцій. Площа поперечного перерізу квадратної труби визначається як різниця площ зовнішнього та внутрішнього квадратів:

$$A = b^2 - (b - 2t)^2 \quad (3.28)$$

де A – площа поперечного перерізу опори, м^2 ;

b – зовнішній розмір профілю, м ;

t – товщина стінки, м .

$$A = 0,08^2 - (0,08 - 2 \cdot 0,005)^2 = 0,0015 \text{ м}^2$$

Стискуюче напруження в опорі визначаємо як відношення розрахункового навантаження до площі поперечного перерізу. Цей розрахунок показує, чи не перевищує фактичне напруження допустиме для сталі:

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{G_{\text{роз}}}{A} \quad (3.29)$$

де $\sigma_{\text{ст}}$ – стискуюче напруження в опорі, Па .

$$\sigma_{\text{ст}} = \frac{10725}{0,0015} = 7,15 \cdot 10^6 \text{ Па}$$

Для сталі S355 допустиме напруження приймаємо: $[\sigma] = 230 \text{ МПа}$

Оскільки:

$$\sigma_{\text{ст}} = 7,15 \text{ МПа} < [\sigma] = 230 \text{ МПа}$$

умова міцності опори при стиску виконується.

Для кількісної оцінки запасу міцності визначаємо коефіцієнт запасу:

$$n = \frac{[\sigma]}{\sigma_{\text{ст}}} = \frac{230}{7,15} = 32,2$$

Отримане значення свідчить про значний запас міцності опори при стиску.

Окрім міцності, для опори необхідно перевірити стійкість, оскільки вона працює як стиснутий стрижень висотою 1,1 м.

Спочатку визначаємо момент інерції квадратної труби відносно центральної осі:

$$I = \frac{b^4 - (b-2t)^4}{12} \quad (3.30)$$

де I – момент інерції перерізу опори, м^4 .

$$I = \frac{0,08^4 - 0,07^4}{12} = 1,41 \cdot 10^{-6} \text{ м}^4$$

Далі визначаємо радіус інерції перерізу, який потрібний для оцінки гнучкості опори:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (3.31)$$

де i – радіус інерції, м.

$$i = \sqrt{\frac{1,41 \cdot 10^{-6}}{0,0015}} = 0,0307 \text{ м}$$

Гнучкість опори визначаємо як відношення розрахункової довжини опори до радіуса інерції:

$$\lambda = \frac{l_0}{i} \quad (3.32)$$

де λ – гнучкість опори;

l_0 – розрахункова довжина опори, м.

Для опори висотою 1,1 м при шарнірному закріпленні умовно приймаємо:

$$l_0 = H_{\text{оп}} = 1,1 \text{ м}$$

$$\lambda = \frac{1,1}{0,0307} = 35,8$$

Отримане значення гнучкості є невеликим, що свідчить про достатню стійкість опори.

Критичне навантаження за формулою Ейлера визначаємо для оцінки стійкості опори проти втрати прямолінійної форми:

$$P_{\text{кр}} = \frac{\pi^2 EI}{l_0^2} \quad (3.33)$$

де $P_{\text{кр}}$ – критичне навантаження, Н;

E – модуль пружності сталі, Па.

$$P_{\text{кр}} = \frac{3,14^2 \cdot 2,1 \cdot 10^{11} \cdot 1,41 \cdot 10^{-6}}{1,1^2} = 2,42 \cdot 10^6 \text{ Н}$$

Коефіцієнт запасу стійкості визначаємо як відношення критичного навантаження до розрахункового навантаження на опору:

$$n_{\text{ст}} = \frac{P_{\text{кр}}}{G_{\text{роз}}} = \frac{2,42 \cdot 10^6}{10725} = 225,6$$

Критичне навантаження на опору значно перевищує фактичне розрахункове навантаження. Це свідчить про достатню стійкість опори та відсутність небезпеки її втрати форми під дією вертикальних навантажень.

Таким чином, проведений розрахунок показав, що застосування чотирьох опор постійної висоти 1,1 м дозволяє суттєво зменшити навантаження на кожную окрему опору. При загальній вазі агромота близько 33 кН на одну опору з урахуванням динамічного коефіцієнта діє навантаження близько 10,7 кН. Прийнята опора з квадратної сталевих труби $80 \times 80 \times 580 \times 80 \times 5$ мм забезпечує достатню міцність при стиску та значний запас стійкості. Це підтверджує доцільність використання нерегульованих опор у запропонованій конструкції агромота.

3.4. Розрахунок енергоспоживання та продуктивності

Енергоспоживання та продуктивність агропостової машини є важливими показниками, які характеризують ефективність запропонованої конструкції. Оскільки в удосконаленій машині передбачено використання електричного приводу, мотор-колів, акумуляторної батареї та сонячних панелей, необхідно визначити орієнтовну потужність, потрібну для переміщення агропосту, витрати енергії на виконання технологічного процесу та продуктивність машини.

У запропонованій конструкції агропост переміщується по напрямних рейках за допомогою мотор-колів. Основними факторами, що впливають на енергоспоживання, є маса машини, опір коченню, швидкість руху, коефіцієнт корисної дії приводу та потужність робочого модуля. Розрахунок виконуємо для агропосту прольотом 12 м, який переміщується по рейкових напрямних і виконує технологічні операції в межах загінки.

Для розрахунку приймаємо вихідні дані, наведені в додатку Б.

Спочатку визначаємо силу опору руху агропосту. Вона залежить від ваги машини та коефіцієнта опору коченню. Для руху металевих мотор-колів по рейкових напрямних цей коефіцієнт є значно меншим, ніж для руху колісної техніки по ґрунту, однак для розрахунку приймаємо його із запасом.

$$F_k = f \cdot G_{\Sigma} \quad (3.34)$$

де F_k – сила опору коченню, Н;

f – коефіцієнт опору коченню;

G_{Σ} – вага агропосту, Н.

$$F_k = 0,02 \cdot 33001 = 660 \text{ Н}$$

Для врахування нерівномірності руху, пускових навантажень і можливих додаткових опорів вводимо коефіцієнт динамічності. Розрахункова сила опору руху визначається за формулою:

$$F_{\text{роз}} = F_{\text{к}} \cdot k_{\text{д}} \quad (3.35)$$

де $F_{\text{роз}}$ – розрахункова сила опору руху, Н;

$k_{\text{д}}$ – коефіцієнт динамічності.

$$F_{\text{роз}} = 660 \cdot 1,3 = 858 \text{ Н}$$

Далі визначаємо потужність, необхідну для переміщення агромота по рейкових напрямних. Цей показник потрібний для вибору мотор-колів та оцінки загального енергоспоживання машини.

$$N_{\text{рух}} = \frac{F_{\text{роз}} \cdot v}{\eta_{\text{п}}} \quad (3.36)$$

де v – робоча швидкість руху, м/с;

$\eta_{\text{п}}$ – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$N_{\text{рух}} = \frac{858 \cdot 0,5}{0,85} = 505 \text{ Вт} = 0,51 \text{ кВт}$$

Отримане значення показує, що для переміщення агромота по рейкових напрямних потрібна відносно невелика потужність, оскільки рух відбувається по металевих рейках, а не по ґрунту.

Загальна встановлена потужність агромота включає потужність на переміщення, потужність робочого модуля та потужність систем керування:

$$N_{\Sigma} = N_{\text{рух}} + N_{\text{рм}} \quad (3.37)$$

де $N_{\text{рм}}$ – потужність робочого модуля, кВт;

$N_{\text{к}}$ – потужність систем керування, кВт.

$$N_{\Sigma} = 0,51 + 3,0 + 0,3 = 3,81 \text{ кВт}$$

Для надійної роботи приводу та врахування короточасних перевантажень приймаємо запас потужності 25 %. Тоді розрахункова потужність становитиме:

$$N_{\text{роз}} = 1,25 \cdot N_{\Sigma} = 1,25 \cdot 3,81 = 4,76 \text{ кВт} \quad (3.38)$$

Отже, для виконання технологічного процесу приймаємо розрахункову потужність агромота близько 5 кВт.

Продуктивність агромота визначається шириною захвату, робочою швидкістю та коефіцієнтом використання часу:

$$W = \frac{B \cdot v \cdot \eta_{\text{ч}} \cdot 3600}{10000} \quad (3.39)$$

де W – продуктивність агромота, га/год;

B – ширина захвату, м;

v – робоча швидкість, м/с;

$\eta_{\text{ч}}$ – коефіцієнт використання часу.

Продуктивність агромота залежить від виду технологічної операції та становить від 0,135 га/год при основному обробітку ґрунту до 1,62 га/год при обприскуванні. Це пояснюється тим, що робочі органи переміщуються вздовж балки, а фактична ширина захвату визначається конструкцією змінного технологічного модуля для виконання відповідної операції.

Таблиця 3.2 – Значення продуктивності агромота на різних технологічних операціях

Технологічна операція	Ширина захвату (B), м	Швидкість (v), м/с	Коефіцієнт використання часу ($\eta_{\text{ч}}$)	Продуктивність (W), га/год
Посів	2	0,5	0,75	0,27
Культивація	2	0,5	0,75	0,27
Основний обробіток ґрунту	1	0,5	0,75	0,135
Обприскування	12	0,5	0,75	1,62

Питомі витрати електроенергії на один гектар визначаються як відношення розрахункової потужності до продуктивності машини:

$$E_{\text{га}} = \frac{N_{\text{роз}}}{W} \quad (3.40)$$

де $E_{\text{га}}$ – питомі витрати електроенергії, кВт·год/га.

$$E_{\text{га}} = \frac{4,76}{1,62} = 2,94 \text{ кВт·год/га}$$

Таким чином, орієнтовні питомі витрати електроенергії становлять близько 3 кВт·год/га без урахування енергії на виконання важких ґрунтообробних операцій. Для легких технологічних процесів, таких як посів, моніторинг, обприскування або внесення малих норм добрив, це є достатньо низьким показником.

Час автономної роботи від акумуляторної батареї визначаємо за формулою:

$$t_{\text{авт}} = \frac{E_{\text{акб}}}{N_{\text{роз}}} \quad (3.41)$$

де $t_{\text{авт}}$ – час автономної роботи, год;

$E_{\text{акб}}$ – ємність акумуляторної батареї, кВт·год.

$$t_{\text{авт}} = \frac{100}{4,76} = 21,0 \text{ год}$$

Теоретично акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год може забезпечити роботу агромаста протягом приблизно 21 год. З урахуванням технологічних перерв, нерівномірності навантаження та необхідності збереження частини заряду фактичний час автономної роботи можна прийняти на рівні 16–18 год.

Площа, яку агроміст може обробити на одному заряді акумуляторної батареї, визначається за формулою:

$$S_{\text{акб}} = W \cdot t_{\text{авт}} = 1,62 \cdot 21,0 = 34,0 \text{ га}$$

Отже, за розрахункових умов агроміст може обробити до 34 га на одному повному заряді акумуляторної батареї.

Для оцінки ефективності сонячних панелей визначаємо добовий виробіток електроенергії. Він залежить від установленної потужності панелей та тривалості ефективного сонячного випромінювання:

$$E_{\text{сп}} = N_{\text{сп}} \cdot t_{\text{сон}} \quad (3.42)$$

де $E_{\text{сп}}$ – добовий виробіток електроенергії сонячними панелями, кВт·год;

$N_{\text{сп}}$ – потужність сонячних панелей, кВт;

$t_{\text{сон}}$ – ефективна тривалість сонячного випромінювання, год $t_{\text{сон}}=4$:

$$E_{\text{сп}} = 12 \cdot 4 = 48 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Отримане значення показує, що за сприятливих умов сонячні панелі можуть забезпечити до 48 кВт·год електроенергії за день. Це дозволяє частково або повністю компенсувати витрати енергії на легкі технологічні операції.

Площа, яку можна обробити за рахунок добової енергії сонячних панелей, визначається так:

$$S_{\text{сп}} = \frac{E_{\text{сп}}}{E_{\text{га}}} = \frac{48}{2,94} = 16,3 \text{ га} \quad (3.43)$$

Отже, енергії, виробленої сонячними панелями за один світловий день, теоретично достатньо для обробітку приблизно 16 га при виконанні легких технологічних операцій. Узагальнені результати розрахунку наведено в таблиці Б.3 (додаток Б).

Проведений розрахунок показав, що удосконалена конструкція агроміста має порівняно невисоке енергоспоживання при русі по рейкових напрямних. Основна частина енергії витрачається не на переміщення самої машини, а на роботу технологічного модуля та систем керування. За прийнятих параметрів продуктивність агроміста становить 1,62 га/год, а питомі витрати електроенергії – близько 2,94 кВт·год/га.

Акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год забезпечує достатній запас енергії для тривалої автономної роботи, а сонячні панелі потужністю 12 кВт дозволяють частково компенсувати витрати електроенергії протягом робочого дня. Це підтверджує доцільність використання автономної енергетичної системи в конструкції агромоста.

3.5. Висновки

1. Запропоновано удосконалену конструкцію агромоста з несучою балкою із двох рознесених двотаврів ІРЕ 400 зі сталі S355. Проліт агромоста прийнято 12 м, ширину балки – 600 мм, а навантаження від каретки з робочим модулем – 500 кг.

2. Розрахунками встановлено, що сумарне рівномірно розподілене навантаження становить 1600 Н/м, а максимальний згинальний момент – 50550 Н·м. Максимальне напруження згину дорівнює 21,2 МПа, що значно менше допустимого для сталі S355 230 МПа. Коефіцієнт запасу міцності становить 10,8.

3. Перевірка жорсткості показала, що сумарний прогин балки становить 38 мм при допустимому значенні 40 мм. Коефіцієнт запасу жорсткості дорівнює 1,05, тому конструкція задовольняє умову жорсткості. Також прийнято 4 опори постійної висоти 1,1 м. Навантаження на одну опору з урахуванням динамічності становить 10,7 кН. Прийнята профільна труба 80×80×5 мм забезпечує достатню міцність і стійкість.

Отже, запропонована конструкція агромоста забезпечує необхідну міцність, допустиму жорсткість та можливість автономної роботи в умовах мостової технології землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз умов праці при використанні агромостової машини

Охорона праці при використанні агромостової машини має важливе значення, оскільки запропонована конструкція поєднує в собі механічні, електричні, енергетичні та автоматизовані системи. На відміну від традиційних машинно-тракторних агрегатів, агроміст переміщується по напрямних рейках, має електричний привод, акумуляторну батарею, сонячні панелі, систему керування, ходову каретку та змінні робочі модулі. Тому безпечна експлуатація такої машини потребує врахування як загальних вимог безпеки для сільськогосподарської техніки, так і спеціальних вимог, пов'язаних із використанням електроприводів та автоматизованих систем [28, 29].

Агромостова машина призначена для виконання технологічних операцій у системі мостового землеробства. Її робота здійснюється на полі, обладнаному напрямними рейками. Основними елементами машини є несуча балка, ходова каретка з робочим модулем, опори постійної висоти, мотор-колеса, акумуляторна батарея, сонячні панелі, інвертор-зарядний пристрій та система керування. У процесі роботи агроміст переміщується вздовж заїмки, а робочий модуль виконує відповідну операцію: посів, культивування, основний обробіток або обприскування.

Умови праці оператора при використанні агромостової машини мають певні переваги порівняно з традиційними машинно-тракторними агрегатами. Оскільки машина обладнана електричним приводом, під час її роботи відсутні вихлопні гази від двигуна внутрішнього згорання, знижується рівень шуму та вібрації, а також зменшується контакт працівника з паливно-мастильними матеріалами. Крім того, автоматизована система керування дозволяє оператору

виконувати контроль за роботою машини дистанційно або з безпечної зони, що зменшує ризик травмування під час виконання технологічних операцій.

Разом із тим експлуатація агромоста супроводжується наявністю ряду небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До механічних небезпек належать рух агромоста по напрямних рейках, переміщення ходової каретки вздовж балки, обертання мотор-колiс, робота змінних робочих органів та можливість затискання працівника між рухомими і нерухомими елементами конструкції. Особливу небезпеку становлять зони біля рейкових напрямних, опор, каретки та робочого модуля.

До електричних небезпек належить наявність електричного обладнання з напругою живлення 380 В, акумуляторної батареї ємністю 100 кВт·год, інверторно-зарядного пристрою, кабельних ліній та системи керування. Порушення ізоляції, пошкодження кабелів, неправильне підключення обладнання або виконання ремонтних робіт без відключення живлення можуть призвести до ураження електричним струмом. Тому електрична частина агромоста повинна мати надійне заземлення, захисні автомати, пристрої аварійного відключення та чітке маркування силових ліній.

Окрему увагу необхідно приділяти акумуляторній батареї та сонячним панелям. Акумуляторна система створює ризик короткого замикання, перегрівання, займання або пошкодження елементів живлення. Сонячні панелі під час освітлення виробляють електроенергію, тому навіть при зупиненій машині окремі ділянки електричної схеми можуть залишатися під напругою. Це потребує застосування захисних вимикачів, запобіжників, контролера заряду та попереджувальних знаків.

У процесі експлуатації агромостової машини можливий вплив зовнішніх факторів середовища. Робота виконується на відкритому повітрі, тому оператор і обслуговуючий персонал можуть зазнавати впливу підвищеної температури, сонячного випромінювання, пилу, вітру та опадів. За несприятливих погодних умов, особливо під час грози, сильного вітру або дощу, експлуатацію машини

необхідно припиняти, оскільки зростає ризик пошкодження електричного обладнання, втрати стійкості конструкції та ураження електричним струмом.

Важливим фактором є також стан рейкових напрямних. Наявність перекосів, забруднення, механічних пошкоджень або сторонніх предметів на рейках може призвести до порушення руху мотор-колiс, заклинювання ходової частини або сходження машини з напрямної. Тому перед початком роботи необхідно проводити огляд рейкового шляху, перевіряти надійність кріплення напрямних і відсутність перешкод у зоні руху.

Умови праці при обслуговуванні агромоста значною мірою залежать від правильної організації робочої зони. Зона руху машини повинна бути позначена попереджувальними знаками, а доступ сторонніх осіб до неї має бути обмежений. Особливо це стосується ділянок біля ходової каретки, робочого модуля, мотор-колiс і електричних шаф. Під час роботи машини забороняється перебувати під несучою балкою, торкатися рухомих частин, відкривати електричні шафи та виконувати регулювання робочих органів без зупинки обладнання.

З метою зниження ризиків агромостова машина повинна бути обладнана системами безпеки. До них належать аварійні кнопки зупинки, кінцеві вимикачі ходу каретки, датчики положення, обмежувачі переміщення, світлова та звукова сигналізація перед початком руху, захисні кожухи рухомих елементів і блокування доступу до електрообладнання. Наявність таких засобів дозволяє своєчасно зупинити машину у випадку виникнення небезпечної ситуації.

Таким чином, умови праці при використанні агромостової машини можна оцінити як більш сприятливі порівняно з традиційною технікою за рахунок електроприводу, зниження шуму, відсутності вихлопних газів і можливості дистанційного керування. Водночас наявність рухомих механізмів, електричного обладнання, акумуляторної батареї та рейкової інфраструктури потребує суворого дотримання вимог безпеки, регулярного технічного огляду та правильної організації робочої зони.

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Під час експлуатації агромовстої машини працівники можуть зазнавати впливу різних небезпечних і шкідливих виробничих факторів [30]. Їх наявність зумовлена тим, що конструкція агромоства поєднує механічні рухомі вузли, електричну систему живлення, акумуляторну батарею, сонячні панелі, рейкові напрямні та змінні робочі модулі. Тому оцінка можливих ризиків є необхідною умовою безпечного використання машини в умовах сільськогосподарського виробництва.

Одним із основних небезпечних факторів є рух самої агромовстої машини по напрямних рейках. Під час переміщення можливе травмування працівника внаслідок наїзду мотор-коліс, затискання між опорою і нерухомими елементами або потрапляння сторонніх предметів у зону руху. Особливо небезпечними є ділянки біля рейкових напрямних, місця встановлення опор і кінцеві зони гону, де агроміст може здійснювати поворот або переїзд на сусідню загінку.

Додаткову небезпеку створює ходова каретка з робочим модулем. Вона переміщується вздовж несучої балки і може виконувати різні технологічні операції: посів, культивування, основний обробіток ґрунту або обприскування. Під час її руху існує ризик защемлення рук, одягу або інструменту між роликками каретки та полицями двотаврової балки. Якщо робочий модуль обладнаний активними робочими органами, додатково виникає небезпека порізів, ударів або захоплення частин тіла рухомими елементами.

Важливим небезпечним фактором є електрична напруга. Агроміст живиться від електричної системи з напругою 380 В, що використовується для роботи приводів, інвертора, зарядного пристрою та допоміжного обладнання. Ураження електричним струмом можливе у разі пошкодження ізоляції кабелів, порушення правил підключення, потрапляння вологи в електричні шафи або

виконання ремонтних робіт без повного відключення живлення. Особливу увагу необхідно приділяти місцям з'єднання кабелів, розподільчим коробкам, інвертору та зарядному пристрою.

Окрему групу ризиків створює акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год. Вона накопичує значну кількість електроенергії, тому при неправильній експлуатації може виникнути коротке замикання, перегрівання, пошкодження елементів або займання. Небезпека підвищується у випадку механічного пошкодження корпусу батареї, порушення вентиляції ніші або неправильного режиму заряджання. Тому акумуляторний блок повинен бути захищений від вологи, ударів, перегріву та неконтрольованого доступу.

Сонячні панелі також є джерелом потенційної небезпеки, оскільки під дією сонячного випромінювання вони виробляють електричну енергію навіть тоді, коли основне обладнання агромота зупинене. Це означає, що окремі ділянки електричної схеми можуть залишатися під напругою. При обслуговуванні панелей або енергетичного обладнання необхідно враховувати можливість появи напруги на вихідних клемах, особливо у світлий час доби.

До механічних небезпек також належать можливі відмови елементів конструкції. Пошкодження роликів каретки, послаблення кріплень, зношування мотор-коліс або деформація напрямних рейок можуть призвести до порушення плавності руху, перекосу машини або аварійної зупинки. Наявність сторонніх предметів на рейках може викликати ударні навантаження на опори та ходову частину. Тому перед початком роботи необхідно перевіряти стан напрямних, мотор-коліс, кріплень і робочого модуля.

Шкідливими виробничими факторами при роботі агромота є пил, шум, вібрація, підвищена температура повітря та вплив сонячного випромінювання. Незважаючи на те, що електричний привод створює менше шуму порівняно з двигуном внутрішнього згоряння, під час роботи роликів, мотор-коліс, редукторів і робочих органів все одно виникають акустичні навантаження.

Рівень шуму залежить від технічного стану вузлів, швидкості руху та виду технологічної операції.

Вібрація виникає внаслідок руху агромота по напрямних, роботи каретки та взаємодії робочих органів із ґрунтом. При справному технічному стані машини її рівень є незначним, однак при перекосі рейок, зношуванні роликів або неправильному налаштуванні робочого модуля вібраційне навантаження може збільшуватися. Це негативно впливає не лише на довговічність конструкції, але й на точність виконання технологічних операцій.

Пил утворюється під час обробітку ґрунту, культивації, руху по сухому полю та роботи з сипкими матеріалами. Він може потрапляти в органи дихання працівників, на електричні контакти, датчики та механізми каретки. Для зменшення негативного впливу пилу необхідно застосовувати захисні кожухи, періодично очищувати датчики та електричні шафи, а працівникам використовувати засоби індивідуального захисту.

Під час виконання операцій обприскування виникає ризик контакту працівника з робочими розчинами засобів захисту рослин. Потрапляння аерозолю на шкіру, в очі або органи дихання може спричинити подразнення або отруєння. Тому під час підготовки розчинів, заправлення бака, контролю форсунок і промивання системи необхідно використовувати захисний одяг, рукавички, окуляри та респіратор.

До організаційних факторів ризику належать недостатня підготовка персоналу, відсутність огороження небезпечних зон, неправильне розміщення працівників під час руху машини, а також порушення порядку технічного обслуговування. Особливо небезпечно виконувати регулювання робочих органів або огляд каретки без зупинки агромота і відключення живлення.

Для систематизації основних небезпечних та шкідливих виробничих факторів при експлуатації агромотової машини їх доцільно подати у вигляді таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при експлуатації
агромостової машини

Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки	Заходи зниження ризику
Рух агромота по рейках	Мотор-колеса, напрямні рейки	Наїзд, затискання, травмування	Огородження зони руху, сигналізація, аварійна зупинка
Переміщення каретки	Ролики, двотаврова балка, робочий модуль	Защемлення, удар, пошкодження одягу	Захисні кожухи, кінцеві вимикачі, заборона роботи в небезпечній зоні
Робочі органи	Сівалка, культиватор, обприскувач, ґрунтообробний модуль	Порізи, удари, захоплення частин тіла	Відключення перед обслуговуванням, фіксація модуля, інструктаж
Електрична напруга 380 В	Приводи, інвертор, зарядний пристрій, кабелі	Ураження електричним струмом	Заземлення, автомати захисту, перевірка ізоляції
Акумуляторна батарея	Блок накопичення енергії 100 кВт·год	Коротке замикання, перегрів, займання	Запобіжники, контролер заряду, вентиляція, захисний корпус
Сонячні панелі	Фотоелектричні модулі	Наявність напруги при освітленні	Вимикачі постійного струму, маркування, ізоляція контактів
Пил	Обробіток ґрунту, сухе поле	Подразнення органів дихання, забруднення датчиків	Респіратори, очищення обладнання, герметизація електрошаф
Шум і вібрація	Мотор-колеса, ролики, робочі органи	Втома, зниження уваги, зношування вузлів	Технічний огляд, балансування, справність рейок
Хімічні речовини	Обприскування, робочі розчини	Подразнення, отруєння	Захисний одяг, окуляри, респіратор, дотримання регламенту
Погодні умови	Робота на відкритому полі	Перегрів, травмування, ураження блискавкою	Припинення роботи під час грози, дощу, сильного вітру

4.3. Заходи з охорони праці та техніки безпеки

Безпечна експлуатація агромостової машини залежить не лише від конструктивної надійності її вузлів, а й від правильної організації роботи, своєчасного технічного обслуговування та дотримання персоналом встановленого порядку виконання операцій. Оскільки агроміст має електричний привод, рейкову систему переміщення, акумуляторну батарею, сонячні панелі, ходову каретку та змінні робочі модулі, заходи з охорони праці повинні охоплювати механічну, електричну, пожежну та організаційну безпеку.

Перед початком роботи оператор повинен провести зовнішній огляд агромостової машини. Насамперед перевіряється стан несучої балки, опор, мотор-колів, напрямних рейок, ходової каретки та робочого модуля. Особливу увагу необхідно приділяти відсутності сторонніх предметів на рейках, надійності кріплення опор і перемичок, справності роликів каретки та відсутності механічних пошкоджень кабельних ліній. Роботу дозволяється розпочинати лише після підтвердження справності основних вузлів.

Зона переміщення агромоста повинна бути чітко визначена та обмежена для сторонніх осіб. Уздовж рейкових напрямних доцільно встановлювати попереджувальні знаки, а в місцях можливого доступу працівників – сигнальні елементи або огородження. Під час руху агромоста забороняється перебувати між опорами, під несучою балкою, біля мотор-колів, а також у зоні переміщення ходової каретки. Перед початком руху машина повинна подавати світловий або звуковий сигнал.

Для зменшення ризику травмування рухомими вузлами каретка та робочий модуль повинні мати обмежувачі ходу, кінцеві вимикачі та захисні кожухи в місцях контакту роликів із полицями двотаврової балки. Регулювання, очищення або заміна робочого обладнання допускаються тільки після повної зупинки агромоста, відключення живлення та фіксації каретки у нерухомому

положенні. Забороняється виконувати будь-яке обслуговування під час руху машини або при ввімкненому приводі.

Електробезпека є одним із головних напрямів захисту персоналу, оскільки приводи агромота живляться від мережі напругою 380 В, а акумуляторна батарея має значну енергоємність. Усі металеві частини, які можуть опинитися під напругою в разі пошкодження ізоляції, повинні бути заземлені. Електричні шафи, інвертор-зарядний пристрій, контролер заряду та силові кабелі повинні мати захист від вологи, пилу та механічного пошкодження. Відкривати електричні шафи дозволяється лише працівникам, які мають відповідну підготовку.

Перед виконанням ремонтних робіт необхідно повністю знеструмити систему, відключити акумуляторну батарею, вимкнути інвертор і переконатися у відсутності напруги на силових клеммах. Оскільки сонячні панелі можуть виробляти електроенергію навіть при зупиненій машині, у схемі повинні бути передбачені окремі вимикачі постійного струму, запобіжники та маркування кабелів. Це дозволяє безпечно виконувати технічне обслуговування енергетичної системи.

Акумуляторна батарея ємністю 100 кВт·год повинна розміщуватися в захищеній ніші або корпусі, що запобігає потраплянню вологи, пилу та механічним пошкодженням. Необхідно передбачити вентиляцію акумуляторного відсіку, контроль температури, захист від короткого замикання та перевантаження. Забороняється експлуатувати батарею при пошкоджені корпусу, перегріванні, появі запаху горілого, деформації елементів або нестабільній роботі контролера заряду.

Під час роботи з робочими модулями необхідно враховувати характер виконуваної операції. При посіві слід уникати контакту з рухомими елементами висівного апарата. При культивуванні та основному обробітку ґрунту забороняється перебувати поблизу активних або заглиблених робочих органів. Під час обприскування оператор повинен використовувати засоби

індивідуального захисту: рукавички, захисні окуляри, респіратор і спецодяг. Заправлення бака, перевірка форсунок і промивання системи виконуються тільки при зупиненому агрегаті.

Важливим заходом безпеки є регулярний контроль стану рейкової інфраструктури. Перед роботою перевіряють прямолінійність напрямних, надійність їх кріплення, відсутність деформацій, забруднення та сторонніх предметів. Порушення геометрії рейок може спричинити перекид агромоста, підвищене навантаження на мотор-колеса та аварійну зупинку. У разі виявлення пошкоджень роботу необхідно припинити до усунення несправностей.

Експлуатацію агромоста не рекомендується проводити під час грози, сильного дощу, туману, ожеледиці або поривчастого вітру. За таких умов зростає ризик ураження електричним струмом, погіршується видимість, підвищується небезпека ковзання на металевих елементах і можливе пошкодження сонячних панелей. При наближенні грози машину необхідно зупинити, перевести у безпечне положення та відключити електроживлення.

Для швидкого реагування на аварійні ситуації агроміст повинен бути обладнаний кнопками аварійної зупинки, розташованими в доступних місцях біля опор, електричної шафи та пульта керування. Також доцільно передбачити кінцеві вимикачі ходу каретки, обмежувачі руху по рейках, датчики перекосу, світлову індикацію режиму роботи та звукове попередження перед початком переміщення. У разі спрацювання аварійного захисту повторний запуск дозволяється лише після виявлення та усунення причини зупинки.

Працівники, які обслуговують агромостову машину, повинні пройти інструктаж з охорони праці, знати порядок запуску, зупинки, аварійного відключення та технічного обслуговування. До роботи з електричною частиною допускаються лише особи, які мають відповідну кваліфікацію. Оператор повинен користуватися справним інструментом, засобами індивідуального захисту та не допускати самовільної зміни налаштувань системи керування.

4.4. Екологічна оцінка технології

Використання агромостової машини в системі мостового землеробства має важливе екологічне значення, оскільки така технологія спрямована на зменшення негативного впливу техніки на ґрунт, зниження енергетичних витрат та раціональне використання виробничих ресурсів. На відміну від традиційних машинно-тракторних агрегатів, які багаторазово переміщуються по полю і створюють значне ущільнення ґрунту, агроміст рухається по напрямних рейках, винесених у технологічні зони. Завдяки цьому основна агротехнічна зона залишається вільною від проходів колісної техніки.

Одним із головних екологічних ефектів запропонованої технології є зменшення ущільнення ґрунту. У традиційних технологіях під час виконання посіву, культивації, внесення добрив, обприскування та збирання врожаю техніка може проходити по полю багато разів за сезон. Це призводить до погіршення структури ґрунту, зменшення його пористості, погіршення водопроникності та повітрообміну. У мостовій технології навантаження від машини передається не на всю площу поля, а тільки на рейкові напрямні. Це дозволяє зберегти фізичні властивості ґрунту в зоні вирощування культур.

Важливою перевагою агромоста є використання електричного приводу. Відсутність двигуна внутрішнього згоряння безпосередньо на машині зменшує локальні викиди відпрацьованих газів, сажі та продуктів згоряння палива. Це особливо важливо при роботі в овочівництві, тепличних комплексах, ягідниках і на дослідних ділянках, де якість середовища має безпосередній вплив на рослини та умови праці персоналу. Крім того, електропривод працює з меншим рівнем шуму порівняно з дизельними агрегатами, що покращує екологічні та санітарні умови роботи.

У запропонованій конструкції передбачено використання акумуляторної батареї ємністю 100 кВт·год та сонячних панелей потужністю 10–15 кВт. Така система дозволяє частково забезпечувати енергоспоживання агромоста за рахунок відновлюваної енергії. Добовий виробіток сонячних панелей може

покривати частину потреб машини при виконанні легких технологічних операцій, таких як моніторинг посівів, обприскування, посів або внесення малих норм добрив. Це зменшує потребу у зовнішньому електроживленні та сприяє зниженню загального вуглецевого сліду виробництва.

Окремо слід відзначити позитивний вплив точного переміщення робочого модуля. Завдяки системі позиціонування, датчикам і енкодерам агроміст може виконувати операції з точністю $\pm 1\text{--}2$ см. Це дозволяє зменшити перекриття під час обприскування, уникнути повторного внесення препаратів на одну і ту саму ділянку та знизити втрати насіння, добрив і засобів захисту рослин. У результаті зменшується хімічне навантаження на ґрунт і рослини, а також знижується ризик забруднення поверхневих та ґрунтових вод.

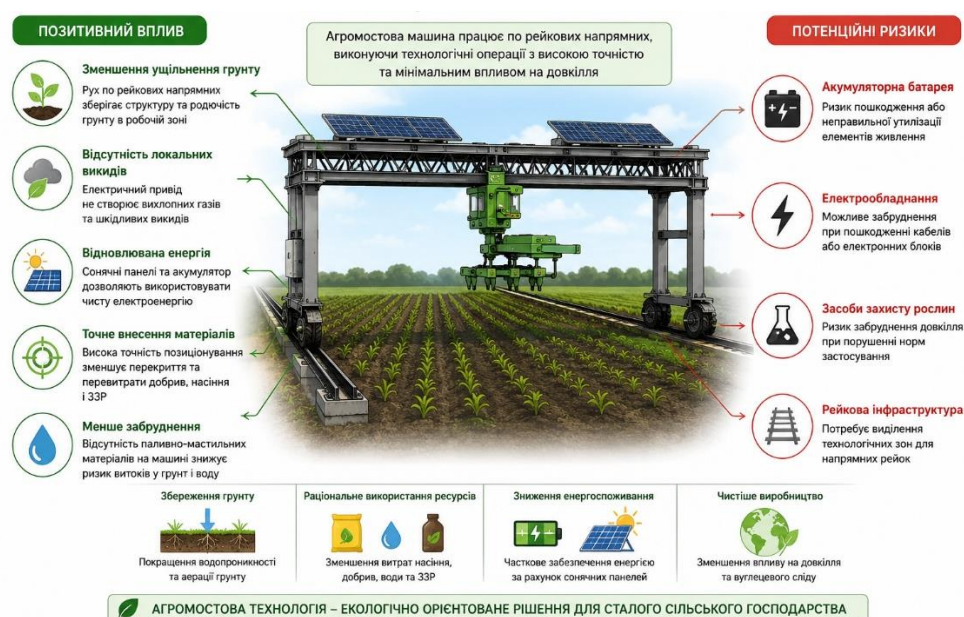


Рисунок 4.1 – Екологічна оцінка технології

Разом із позитивними сторонами мостова технологія має і певні екологічні ризики, які необхідно враховувати. Насамперед це пов'язано з наявністю акумуляторної батареї, електрообладнання, кабельних ліній та сонячних панелей. Пошкодження акумуляторного блоку або неправильна його утилізація можуть створити небезпеку забруднення довкілля. Тому акумуляторна система повинна мати захищений корпус, контроль температури, захист від короткого замикання та передаватися на спеціалізовану утилізацію після завершення строку служби.

Ще одним фактором є облаштування рейкової інфраструктури. Встановлення напрямних потребує виділення технологічних зон, які не використовуються безпосередньо для вирощування культур. Однак ця втрата площі є обмеженою і компенсується збереженням структури ґрунту на основній площі поля. Крім того, використання простої рейкової системи з одним напрямним профілем з кожного боку дозволяє зменшити металоємність інфраструктури та знизити вплив будівельно-монтажних робіт на поле.

Під час виконання операцій обприскування екологічна безпека значною мірою залежить від правильного налаштування форсунок, швидкості руху та погодних умов. Роботу не можна проводити при сильному вітрі, оскільки це може спричинити знесення робочого розчину за межі оброблюваної зони. Також необхідно дотримуватися норм внесення препаратів і не допускати перевищення рекомендованих концентрацій.

4.5. Висновки

У четвертому розділі проаналізовано умови праці при експлуатації агромовової машини та визначено основні небезпечні фактори: рух по рейкових напрямних, переміщення каретки, робота змінних модулів, електроживлення 380 В, акумуляторна батарея 100 кВт·год і сонячні панелі.

Запропоновано заходи безпеки: огороження небезпечних зон, передпускова перевірка машини, використання аварійних кнопок зупинки, кінцевих вимикачів, захисних кожухів, заземлення електрообладнання та засобів індивідуального захисту.

Екологічна оцінка показала, що агромовова технологія зменшує ущільнення ґрунту, не створює локальних викидів, дає змогу використовувати сонячну енергію та точніше вносити насіння, добрива і засоби захисту рослин.

Отже, агромовова машина за умови правильної експлуатації забезпечує безпечніші умови праці та знижує негативний вплив на довкілля.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення

Економічне обґрунтування є важливою складовою оцінки доцільності впровадження удосконаленої конструкції агромостової машини. Запропоноване технічне рішення спрямоване не лише на підвищення точності виконання технологічних операцій, а й на зменшення витрат енергії, зниження ущільнення ґрунту, скорочення експлуатаційних витрат і підвищення ефективності використання ресурсів.

На відміну від традиційної машинно-тракторної технології, агроміст переміщується по напрямних рейках і не здійснює руху безпосередньо по агротехнічній зоні поля. Це дозволяє зменшити негативний вплив ходових систем на ґрунт, покращити умови розвитку рослин і знизити витрати, пов'язані з повторним обробітком ущільнених ділянок. Крім того, застосування електричного приводу, акумуляторної батареї та сонячних панелей дає змогу частково замінити дизельне паливе електроенергією, що є важливим чинником економії.

Економічний ефект від впровадження агромостової машини формується за рахунок кількох основних складових: зменшення витрат на енергоносії, скорочення витрат на паливо, зниження витрат на обслуговування традиційної техніки, підвищення точності виконання технологічних операцій та можливого приросту врожайності внаслідок зменшення ущільнення ґрунту. Саме ці показники доцільно враховувати при оцінці ефективності запропонованого конструктивного рішення.

Для виконання економічного розрахунку необхідно прийняти вихідні дані, які характеризують умови використання агромостової машини, її технічні параметри, вартість енергоносіїв та очікуваний економічний результат.

Розрахунок доцільно виконувати для порівняння двох варіантів технології: традиційної машинно-тракторної та удосконаленої мостової.

У традиційній технології основні операції виконуються тракторними агрегатами, що споживають дизельне паливо, створюють ущільнення ґрунту та потребують витрат на технічне обслуговування. У мостовій технології переміщення машини здійснюється електроприводом, а частина енергії може компенсуватися за рахунок сонячних панелей. Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для економічного обґрунтування

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Площа обробітку	S	га	25
Вартість дизельного пального	C _д	грн/л	88
Вартість електроенергії	C _е	грн/кВт·год	6
Витрата дизельного пального традиційною технологією	q _д	л/га	5
Питомі витрати електроенергії агромота	E _{га}	кВт·год/га	2,94
Кількість технологічних проходів за сезон	n	разів	4
Вартість технічного обслуговування тракторної техніки	C _{то}	грн/рік	4500
Орієнтовне підвищення врожайності від зменшення ущільнення ґрунту	ΔY	%	3
Середня вартість додаткової продукції з 1 га	C _{пр}	грн/га	2500
Орієнтовна вартість удосконалення агромота	K	грн	180000

Наведені дані є розрахунковими та можуть уточнюватися залежно від конкретних умов господарства, виду культури, кількості технологічних операцій, вартості комплектуючих і цін на енергоносії. Для попереднього економічного обґрунтування вони дають змогу оцінити очікуваний річний економічний ефект і визначити строк окупності запропонованого технічного рішення.

5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат традиційної та мостової технології

Для оцінки економічної ефективності удосконаленої конструкції агромота доцільно порівняти експлуатаційні витрати традиційної машинно-тракторної технології та мостової технології з використанням загальноприйнятих методик [31]. Основну увагу приділяємо витратам на енергоносії, оскільки традиційна технологія базується на використанні дизельного пального, а агроміст працює від електричного приводу з можливістю часткового живлення від сонячних панелей.

Розрахунок виконуємо для площі обробітку $S=25$ га

Кількість технологічних проходів за сезон приймаємо згідно табл. 5.1 $n=4$

Тоді загальна площа виконання технологічних операцій за сезон становить:

$$S_{\Sigma}=S \cdot n \quad (5.1)$$

де S_{Σ} – загальна площа обробітку з урахуванням кількості проходів, га;

S – площа поля, га;

n – кількість технологічних проходів за сезон.

$$S_{\Sigma}=25 \cdot 4=100 \text{ га}$$

Отже, за сезон техніка фактично виконує операції на площі 100 га.

Витрати дизельного пального при традиційній технології

Для традиційної машинно-тракторної технології витрати дизельного пального визначаємо за формулою:

$$Q_d = S_{\Sigma} \cdot q_d \quad (5.2)$$

де Q_d – загальна витрата дизельного пального, л;

S_{Σ} – загальна площа виконання операцій, га;

q_d – питома витрата дизельного пального, л/га.

Приймаємо витрату дизельного пального $q_d = 5$ л/га

Тоді:

$$Q_d = 100 \cdot 5 = 500 \text{ л}$$

Вартість дизельного пального визначаємо за формулою:

$$C_{диз} = Q_d \cdot C_d \quad (5.3)$$

де $C_{диз}$ – витрати на дизельне пальне, грн;

C_d – ціна дизельного пального, грн/л.

$$C_{диз} = 500 \cdot 88 = 44000 \text{ грн}$$

Отже, витрати на дизельне пальне при традиційній технології становлять 44,0 тис. грн за сезон.

Витрати електроенергії при використанні агромота

Для мостової технології витрати електроенергії визначаємо з урахуванням питомого споживання електроенергії агромотовою машиною:

$$Q_e = S_{\Sigma} \cdot E_{\Sigma a} \quad (5.4)$$

де Q_e – загальна витрата електроенергії, кВт·год;

$E_{\Sigma a}$ – питомі витрати електроенергії, кВт·год/га.

Приймаємо: $E_{ca}=2,94$ кВт·год/га

Тоді:

$$Q_e=100 \cdot 2,94=294 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вартість електроенергії визначаємо за формулою:

$$C_{ел}=Q_e \cdot C_e \quad (5.5)$$

де $C_{ел}$ – витрати на електроенергію, грн;

C_e – вартість 1 кВт·год електроенергії, грн.

$$C_{ел}=294 \cdot 6=1764 \text{ грн}$$

Отже, витрати на електроенергію при використанні агромота становлять 1,76 тис. грн за сезон.

Економію витрат на енергоносії визначаємо як різницю між витратами на дизельне паливо та витратами на електроенергію:

$$E_{ен}=C_{диз}-C_{ел} \quad (5.6)$$

де $E_{ен}$ – економія витрат на енергоносії, грн.

$$E_{ен}=44000-1764=42236 \text{ грн}$$

Отже, за рахунок переходу від дизельного приводу до електричного приводу агромота економія на енергоносіях становить приблизно 42,2 тис. грн за сезон.

Врахування сонячної енергії

Оскільки в конструкції агромота передбачено використання сонячних панелей, частина потреби в електроенергії може покриватися за рахунок власної генерації. Добовий виробіток сонячних панелей раніше прийнято:

$$E_{\text{сп}} = 48 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{добу}$$

Якщо агроміст працює кілька днів у сезоні, сонячна генерація може частково або повністю покрити потребу в електроенергії для легких технологічних операцій. Для спрощеного економічного розрахунку приймаємо, що сонячні панелі компенсують 50 % витрат електроенергії.

Тоді фактичні витрати на електроенергію становитимуть:

$$C_{\text{ел.ф}} = C_{\text{ел}} \cdot 0,5 = 1764 \cdot 0,5 = 882 \text{ грн} \quad (5.7)$$

У такому випадку економія на енергоносіях з урахуванням сонячної генерації становить:

$$E_{\text{ен.ф}} = C_{\text{диз}} - C_{\text{ел.ф}} = 4000 - 882 = 43118 \text{ грн} \quad (5.8)$$

Отже, за умови часткового покриття витрат електроенергії сонячними панелями економія може становити близько 43,1 тис. грн за сезон.

Окрім витрат на енергоносії, мостова технологія дозволяє зменшити витрати на технічне обслуговування традиційної тракторної техніки. Це пояснюється зменшенням використання трактора, зниженням кількості мотогодин, меншою потребою в пальному, мастильних матеріалах і ремонті ходової частини. Приймаємо річні витрати на технічне обслуговування тракторної техніки $C_{\text{то}} = 4500$ грн

Тоді загальна економія експлуатаційних витрат становить:

$$E_{\text{експ}} = E_{\text{ен.ф}} + C_{\text{то}} \quad (5.9)$$

де $E_{\text{експ}}$ – загальна економія експлуатаційних витрат, грн.

$$E_{\text{експ}} = 43118 + 4500 = 47618 \text{ грн}$$

Отже, сумарна економія експлуатаційних витрат за сезон становить приблизно 47,6 тис. грн.

Таблиця 5.2 – Порівняння експлуатаційних витрат традиційної та мостової технології

Показник	Традиційна технологія	Мостова технологія	Різниця
Загальна площа виконання операцій, га	100	100	–
Витрата дизельного пального, л	500	–	–500
Витрати на дизельне пальне, грн	44000	–	–44000
Витрата електроенергії, кВт·год	–	294	+294
Витрати на електроенергію без сонячної компенсації, грн	–	1764	+1764
Витрати на електроенергію з урахуванням сонячної компенсації, грн	–	882	+882
Витрати на технічне обслуговування, грн	4500	умовно зменшуються	–4500
Загальна економія експлуатаційних витрат, грн	–	–	47618

Таким чином, розрахунок показує, що застосування агромотової машини дозволяє суттєво зменшити експлуатаційні витрати порівняно з традиційною машинно-тракторною технологією. Основна економія формується за рахунок заміни дизельного пального електроенергією та часткового використання сонячної генерації. За прийнятих умов загальна сезонна економія становить близько 47,6 тис. грн.

5.3. Розрахунок економічної ефективності та терміну окупності проекту

Термін окупності є одним із основних показників економічної ефективності впровадження нового технічного рішення. Він показує, за який період початкові капітальні вкладення повернуться за рахунок отриманого річного економічного ефекту.

Для розрахунку терміну окупності використовуємо формулу:

$$T_{ок} = K \cdot E_{заг} \quad (5.10)$$

де $T_{ок}$ – термін окупності, років;

K – капітальні вкладення на впровадження удосконаленої конструкції агромота, грн;

$E_{заг}$ – загальний річний економічний ефект, грн.

$$E_{заг} = E_{ен.ф} + C_{то} + E_{вр} \quad (5.11)$$

$$E_{заг} = 43118 + 4500 + 62500 = 110118 \text{ грн/рік}$$

де $E_{вр}$ – економічний ефект від підвищення врожайності, грн.

Тоді:

$$T_{ок} = \frac{180000}{110118} = 1,63 \text{ року}$$

Отже, термін окупності удосконаленої конструкції агромота становить приблизно 1,63 року, або близько 20 місяців.

Таблиця 5.3 – Техніко-економічна ефективність проекту

Показник	Традиційна технологія	Мостова технологія	Різниця
Площа обробітку, га	25	25	-
Кількість технологічних проходів	4	4	-
Загальна площа виконання операцій, га	100	100	-
Джерело енергії	дизельне пальне	електроенергія + сонячна генерація	-
Витрата дизельного пального, л	500	—	-500
Витрати на дизельне пальне, грн	44000	—	-44000
Витрати електроенергії, кВт·год	—	294	+294
Вартість електроенергії без сонячної компенсації, грн	—	1764	+1764
Вартість електроенергії з урахуванням сонячної компенсації, грн	44000	882	-43118
Витрати на технічне обслуговування тракторної техніки, грн	9000	4500	-4500
Загальна економія експлуатаційних витрат, грн	47618		
Економічний ефект від підвищення врожайності, грн	62500		
Загальний річний економічний ефект, грн/рік	110118		
Капітальні вкладення на удосконалення, грн	180000		
Термін окупності, років	1,63		

5.4. Висновки

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування впровадження удосконаленої конструкції агромоста для площі 25 га за 4 технологічні проходи, що становить 100 га виконаних операцій за сезон. Встановлено, що традиційна технологія потребує 500 л дизельного пального вартістю 44000 грн, тоді як мостова технологія споживає 294 кВт·год електроенергії. З урахуванням сонячної генерації витрати на електроенергію становлять 882 грн, а економія на енергоносіях – 43118 грн. Загальна економія експлуатаційних витрат становить 47618 грн, а додатковий ефект від підвищення врожайності – 62500 грн. Загальний річний економічний ефект дорівнює 110118 грн.

При капітальних вкладеннях 180000 грн термін окупності становить 1,63 року, або близько 20 місяців. Отже, впровадження агромостової технології є економічно доцільним.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Випускна кваліфікаційна робота виконана на тему «Підвищення ефективності використання мостової технології землеробства шляхом удосконалення конструкції агромоста». Метою роботи було підвищення ефективності мостової технології землеробства за рахунок удосконалення конструкції агромостової машини, зменшення енерговитрат, підвищення точності технологічних операцій та зниження негативного впливу техніки на ґрунт.

У процесі аналізу господарської діяльності ТОВ «ЗОРЯ» встановлено, що підприємство має достатній виробничий і технічний потенціал для впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій. Загальна площа посівів у 2025 році становить близько 1720 га, а основними культурами є кукурудза на зерно, озима пшениця та ріпак. Урожайність кукурудзи досягає 69,2 ц/га, озимої пшениці – 62,5 ц/га, овочевих культур – 235 ц/га, що підтверджує перспективність подальшого розвитку точних технологій вирощування.

Встановлено, що традиційні та інтенсивні технології вирощування овочевих культур супроводжуються ущільненням ґрунту, значними енерговитратами та недостатньою точністю виконання операцій. Мостова технологія дозволяє усунути рух колісної техніки по агротехнічній зоні, забезпечити точність позиціонування робочих органів до $\pm 1\text{--}2$ см і зменшити негативний вплив на ґрунт.

Запропоновано удосконалену конструкцію агромоста з несучою балкою із двох рознесених двотаврових профілів ІРЕ 400 зі сталі S355. Проліт агромоста прийнято 12 м, ширину балки – 600 мм, масу каретки з робочим модулем – до 500 кг. У конструкції передбачено акумуляторну батарею 100 кВт·год, сонячні панелі 10–15 кВт, електропривід 380 В та 4 опори постійної висоти 1,1 м.

Розрахунки підтвердили працездатність запропонованої конструкції. Максимальний згинальний момент балки становить 50550 Н·м, напруження згину – 21,2 МПа, що значно менше допустимого значення 230 МПа. Коефіцієнт

запасу міцності становить 10,8. Сумарний прогин балки дорівнює 38 мм при допустимому значенні 40 мм, а коефіцієнт запасу жорсткості – 1,05.

Проаналізовано умови праці та екологічну безпеку при використанні агромостової машини. Основними небезпечними факторами є рух по рейкових напрямних, переміщення каретки, робота змінних модулів, електроживлення 380 В, акумуляторна батарея та сонячні панелі. Запропоновані заходи безпеки передбачають огороження небезпечних зон, аварійну зупинку, заземлення, передпусковий контроль і використання засобів індивідуального захисту. Екологічна перевага технології полягає у зменшенні ущільнення ґрунту, відсутності локальних викидів і використанні сонячної енергії.

Економічне обґрунтування виконано для площі 25 га та 4 технологічних проходів, тобто 100 га виконаних операцій за сезон. При традиційній технології витрата дизельного пального становить 500 л, або 44000 грн. Мостова технологія споживає 294 кВт·год електроенергії, а з урахуванням сонячної компенсації витрати становлять 882 грн. Економія на енергоносіях дорівнює 43118 грн, загальна економія експлуатаційних витрат – 47618 грн, додатковий ефект від підвищення врожайності – 62500 грн.

Загальний річний економічний ефект від впровадження удосконаленої конструкції агромоста становить 110118 грн. При капітальних вкладеннях 180000 грн термін окупності становить 1,63 року, або близько 20 місяців. Отже, запропонована конструкція є технічно працездатною, екологічно доцільною та економічно ефективною для використання в системі мостового землеробства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М., Сокол С. П., Надикто В. Т. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень : монографія. – Дніпро: Акцент ПП, 2023. – 367 с.
2. Tullberg J. N., Yule D. F., McGarry D. Controlled traffic farming: From research to adoption. – Soil and Tillage Research. – 2007. – Vol. 97. – P. 272–281.
3. Jensen T. A. Controlled Traffic Farming Systems. – Soil and Tillage Research. – 2018.
4. Звіт господарства за 2023-2025 роки
5. Барабаш О. Ю., Левченко В. М. Технології вирощування овочевих культур. – Київ : Вища школа, 2017. – 312 с.
6. Бондар С. О. Овочівництво : підручник. Київ: Урожай, 2018. – 384 с.
7. Кравчук В. І., Буряк В. П., Царенко О. М. Сільськогосподарські машини. – Київ: Урожай, 2018. – 504 с.
8. Булгаков В. М., Гринченко О. О. Машини для рослинництва. – Київ: Центр учбової літератури, 2015. – 320 с.
9. Мельник І. І., Погорілий В. Ф. Механізація виробництва продукції рослинництва. – Київ: Вища освіта, 2017. – 382 с.
10. Личук М. М. Технології вирощування овочевих культур. – Львів: Сполом, 2016. – 298 с.
11. Жук О. І. Сучасні технології в рослинництві. – Київ: Аграрна наука, 2019. – 276 с.
12. Zhang Q. Precision Agriculture Technology for Crop Farming. – Boca Raton: CRC Press, 2015. – 376 p.
13. Stafford J. V. Precision Agriculture Systems. – Dordrecht: Springer, 2018. – 287 p.

14. Blackmore S., Fountas S. Precision Agriculture. – Wallingford: CABI, 2014. – 360 p.
15. Lal R., Stewart B. A. Soil Compaction in Crop Production. – Boca Raton: CRC Press, 2017. – 410 p.
16. FAO. Conservation Agriculture. – Rome: Food and Agriculture Organization, 2018. – 98 p.
17. FAO. Mechanization for Rural Development. – Rome: FAO, 2016.
18. World Bank. ICT in Agriculture: Connecting Smallholders to Knowledge, Networks, and Institutions. – Washington, 2017.
19. Довгалюк В. С. Основи точного землеробства. – Харків: ХНТУСГ, 2020. – 310 с.
20. Бойко В.Б., Денисенков О.В. (2025). Агроміст з автономним енергоживленням для мостової технології у точному землеробстві. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Технічні науки, 4(49), I: 211–219. DOI: <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.32>
21. Кравчук В. І. (ред.) Система машин в агропромисловому комплексі України. – Київ: ННЦ «ІМЕСГ», 2016. – 280 с.
22. Nakra C. P. Farm Machinery and Equipment. – New Delhi: Dhanpat Rai Publications, 2013. – 412 p.
23. Ковбаса В. П., Барановський В. М., Пастухов В. І. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин. – Київ: Аграрна освіта, 2010. – 336 с.
24. Погорілий Л. В., Барановський В. М. Інженерно-технічне забезпечення агропромислового виробництва. – Київ: Агр. наука, 2012. – 512 с.
25. Технічна механіка (складові загальноінженерної компетентності): Навч. посібник / В. І. Мороз, О. В. Братченко, В. І. Громов та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 135 с., рис. 41, табл. 4.
26. Деталі машин : підручник / [А. В. Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко, В. І. Дирда та ін.]. – К. : Агроосвіта, 2013. – 448 с.

27. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: Підручник. – К.: Знання, 2016. – 400 с.
28. ДСТУ ISO 4254-1:2015. Машини сільськогосподарські. Безпека. Загальні вимоги. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016.
29. Закон України Про охорону праці. – Відомості Верховної Ради України, 1992 (зі змінами).
30. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.
31. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві нової техніки і технологій. – Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. – 52 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані для розрахунку

Параметр	Позн.	Одиниця виміру	Значення
Проліт агромоста	(L)	м	12
Тип балки	—	—	2 двотаври
Тип профілю	—	—	IPE 400 S355
Висота балки	(h)	мм	400
Ширина балки	(b)	мм	600
Крок ребер жорсткості	(l)	мм	1000–1500
Маса каретки з робочим модулем	(m_{к})	кг	500
Розрахункове навантаження від каретки	(P)	Н	5000
Швидкість руху каретки	(v_1)	м/с	0,5–1,5
Швидкість руху агромоста	(v_2)	м/с	до 2,5
Висота опор агромоста	(H_{оп})	м	1,1
Кількість опор	(n_{оп})	шт.	4
Тип приводу	—	—	електричний
Напруга живлення	(U)	В	380
Ємність акумуляторної батареї	(C)	кВт·год	100
Потужність сонячних панелей	(N)	кВт	10–15
Точність позиціонування	(\Delta)	см	±1–2
Ширина захвату посівного модуля	(B_{п})	м	2
Ширина захвату культиваторного модуля	(B_{к})	м	2
Ширина захвату модуля основного обробітку	(B_{о})	м	1
Ширина захвату обприскувального модуля	(B_{об})	м	12

Додаток Б

Таблиця Б.1 – Вихідні дані для розрахунку опор агромота

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Загальна маса агромота	(m_{Σ})	кг	3364
Вага агромота	(G_{Σ})	Н	33001
Робоча швидкість руху	(v)	м/с	0,5
Коефіцієнт опору коченню	(f)	—	0,02
Коефіцієнт динамічності	(k_d)	—	1,3
ККД приводу	(η_p)	—	0,85
Коефіцієнт використання часу	$(\eta_{\text{ч}})$	—	0,75
Потужність робочого модуля	$(N_{\text{рм}})$	кВт	3,0
Потужність систем керування	$(N_{\text{к}})$	кВт	0,3
Ємність акумуляторної батареї	$(E_{\text{акб}})$	кВт·год	100
Потужність сонячних панелей	$(N_{\text{сп}})$	кВт	12
Ширина захвату посівного модуля	$(B_{\text{п}})$	м	2
Ширина захвату культиваторного модуля	$(B_{\text{к}})$	м	2
Ширина захвату модуля основного обробітку	(B_o)	м	1
Ширина захвату обприскувального модуля	$(B_{\text{об}})$	м	12

Таблиця Б.2 – Вихідні дані для розрахунку енергоспоживання та продуктивності агромота

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Загальна маса агромота	m_{Σ}	кг	3364
Вага агромота	G_{Σ}	Н	33001
Ширина захвату агромота	B	м	12
Робоча швидкість руху	v	м/с	0,5
Коефіцієнт опору коченню	f	—	0,02
Коефіцієнт динамічності	k_d	—	1,3
ККД приводу	η_p	—	0,85
Коефіцієнт використання часу	$\eta_{\text{ч}}$	—	0,75
Потужність робочого модуля	$N_{\text{рм}}$	кВт	3,0
Потужність систем керування	$N_{\text{к}}$	кВт	0,3
Ємність акумуляторної батареї	$E_{\text{акб}}$	кВт·год	100
Потужність сонячних панелей	$N_{\text{сп}}$	кВт	12

Таблиця Б.3 – Результати розрахунку енергоспоживання та продуктивності агромота

Показник	Позначення	Одиниця виміру	Значення
Сила опору коченню	F_k	Н	660
Розрахункова сила опору	$F_{роз}$	Н	858
Потужність на переміщення	$N_{рух}$	кВт	0,51
Сумарна потужність споживачів	N_{Σ}	кВт	3,81
Розрахункова потужність із запасом	$N_{роз}$	кВт	4,76
Продуктивність агромота	W	га/год	1,62
Питомі витрати електроенергії	$E_{га}$	кВт·год/га	2,94
Час автономної роботи	$t_{авт}$	год	21,0
Площа обробітку на одному заряді	$S_{акб}$	га	34,0
Добовий виробіток сонячних панелей	$E_{сп}$	кВт·год	48
Площа обробітку від енергії сонячних панелей	$S_{сп}$	га	16,3

[illegible]