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:

Удосконалення технології мостового землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні грунту

Виконав: студент 3 курсу, групи АІС-2-23 за спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Семенков Сергій Вікторович

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

Семенкову Сергію Вікторовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Удосконалення технології мостового землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні грунту

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 механізації знарядь для вирівнювання грунту. Актуальні розробки запропоновані в патентах та реалізовані у вигляді діючих знарядь, наукові напрацювання за даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз знарядь для вирівнювання грунту. 3. Обгрунтування конструкції модуля для вирівнювання грунту. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка розробки. 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 проекту	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 _____ Семенков С.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Поз.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
			Текстові документи		
	А4	52ДП.064.000.000ПЗ	Пояснювальна записка	83	
			Графічні матеріали		
1	А1	52ДП.064.000.000А	Аналіз конструктивних рішень	1	
2	А1	52ДП.064.000.000ТХ	Технологічна схема	1	
3	А1	52ДП.064.100.000ВЗ	Конструктивна схема	1	
4	А1	52ДП.064.106.000СК	Складальне креслення	1	
5	А1	52ДП.064.1006000	Деталювання	1	
6	А1	52ДП.064.000.000Е	Економічні показники проекту	1	

				52.ДП.064.000.000.ПД		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.			
Розроб.		Семенков С.В.		Відомість дипломного проекту	Літ.	Лист 4 / Листів 83
Перев.		Бойко В.Б.			у	
Т.контр.					ДДАЕУ АІС-2-23	
Н.контр.		Золотовська О.В.				
Зат.		Теслюк Г.В.				

АНОТАЦІЯ

Семенков С.В. Удосконалення технології мостового землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні грунту/ Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності мостової технології землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту. Проведено аналіз існуючих технологій обробітку ґрунту та технічних засобів вирівнювання, визначено їхні недоліки в умовах використання агромостових систем.

У роботі обґрунтовано конструктивно-технологічні параметри запропонованого модуля, який забезпечує формування рівномірного агрофону після виконання основних та передпосівних операцій. Розроблено конструкцію робочих органів, а також систему регулювання положення і режимів роботи модуля, що дозволяє адаптувати його до різних умов експлуатації. Виконано інженерні розрахунки основних елементів конструкції та визначено раціональні параметри функціонування.

Розглянуто питання охорони праці та безпеки експлуатації, а також обґрунтовано економічну доцільність впровадження запропонованого рішення.

Ключові слова: мостове землеробство, агроміст, модуль вирівнювання ґрунту, обробіток ґрунту, робочі органи, мехатронна система, енергоефективність, агротехнічні показники.

ЗМІСТ

ВСТУП 8

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ 9

1.1. Загальна характеристика господарства та природно-кліматичні умови 9

1.2. Структура виробництва і спеціалізація господарства 10

1.3. Рівень механізації та енергозабезпечення технологічних процесів 13

1.4. Економічні показники та обґрунтування доцільності проекту 17

1.5. Висновки 20

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 21

2.1. Агротехнічні вимоги та механізація процесу вирівнювання поверхні ґрунту 21

2.2. Огляд існуючих машин і знарядь для вирівнювання ґрунту 24

2.3. Особливості вирівнювання грунту в мостовій технології землеробства 34

2.4. Висновки 37

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 38

3.1. Обґрунтування конструктивної схеми модуля вирівнювання ґрунту 38

3.2. Розрахунок основних параметрів і режимів роботи модуля 41

3.3. Обґрунтування вибору матеріалів і комплектуючих 51

3.4. Розрахунок навантажень та міцності елементів конструкції 54

3.5. Інтеграція модуля в мехатронну систему агромоста 57

3.6. Висновки 61

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 62

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі обладнання 62
4.2. Вимоги безпеки при експлуатації модуля вирівнювання ґрунту 64
4.3. Заходи щодо підвищення безпеки праці 65
4.4. Оцінка впливу на навколишнє середовище 67
4.5. Висновки 69
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 70
5.1. Загальні положення 70
5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат 71
5.3. Собівартість обробітку 74
5.4. Загальний економічний ефект 76
5.5. Висновки 78
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 79
ЛІТЕРАТУРА 81
ДОДАТКИ 84

ВСТУП

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур висувають підвищені вимоги до якості підготовки ґрунту, зокрема до рівності його поверхні та однорідності посівного шару. У традиційних системах обробітку ґрунту забезпечення таких параметрів ускладнюється через багаторазові проходи техніки, що призводить до ущільнення ґрунту, утворення нерівностей і грудкуватості поверхні [1, 2]. Це негативно впливає на рівномірність висіву, розвиток рослин і, як наслідок, знижує врожайність.

Особливо гостро ця проблема проявляється в умовах вирощування овочевих культур, де навіть незначні відхилення у вирівнюванні поверхні ґрунту можуть призвести до істотних втрат продукції. Існуючі технічні засоби не завжди забезпечують необхідну якість виконання цієї операції, особливо при інтеграції у сучасні системи точного та мостового землеробства.

Одним із ефективних шляхів вирішення зазначеної проблеми є впровадження мостової технології землеробства [3], яка дозволяє мінімізувати ущільнення ґрунту та підвищити точність виконання технологічних операцій. У межах цієї технології доцільним є застосування спеціалізованих модулів, здатних забезпечити якісне вирівнювання поверхні ґрунту з урахуванням сучасних агротехнічних вимог.

У зв’язку з цим виникає необхідність розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту, який може бути інтегрований у систему агромоста та забезпечувати формування рівномірного посівного шару.

Метою роботи є підвищення ефективності мостової технології землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту.

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

1.1. Загальна характеристика господарства та природно-кліматичні умови

Сільськогосподарське підприємство ТД «Agro Demetra» здійснює виробничу діяльність у межах Дніпровського району Дніпропетровської області [4]. Господарство розташоване в зоні з розвиненою транспортною інфраструктурою, що забезпечує зручне сполучення з обласним центром – містом Дніпро, відстань до якого становить близько 30–40 км. Така локація створює сприятливі умови для своєчасного постачання матеріально-технічних ресурсів і реалізації сільськогосподарської продукції .

Підприємство сформувалося у другій половині 2010-х років і за період функціонування поступово розширило виробничу базу. На початковому етапі діяльність була зосереджена переважно на овочівництві, однак з часом виробнича структура була диверсифікована шляхом впровадження вирощування зернових культур та розвитку насінницького напряму .

Земельний фонд господарства сформовано за рахунок орендованих сільськогосподарських угідь, розташованих у межах населених пунктів: Степове, Чумаки та Зоря. Загальна площа ріллі становить понад 300 га, що дозволяє забезпечити ефективне ведення інтенсивного рослинництва. Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами, які характеризуються високим вмістом гумусу, добрими фізико-механічними властивостями та сприятливими умовами для вирощування більшості сільськогосподарських культур .

Кліматичні умови території відповідають помірно континентальному типу з жарким літом та відносно м’якою зимою. Середньорічна температура повітря становить близько +11…+12 °С, а річна кількість опадів коливається в межах 400–450 мм. Водночас характерною особливістю є нерівномірність їх розподілу

протягом року, що може спричиняти дефіцит вологи у критичні фази розвитку рослин .

Основним напрямом діяльності підприємства є рослинництво, яке формує більшу частину валової продукції. Допоміжні підрозділи забезпечують зберігання продукції, технічне обслуговування машинно-тракторного парку та організацію виробничих процесів. Управління здійснюється за лінійно-функціональною структурою з розподілом функцій між керівником, агрономічною та інженерною службами .

Кадровий склад підприємства є відносно компактним. У середньому чисельність працівників становить близько 10–15 осіб, однак у періоди пікових польових робіт вона збільшується за рахунок залучення сезонних робітників. Такий підхід дозволяє оптимізувати витрати на оплату праці та забезпечити виконання технологічних операцій у встановлені агротехнічні строки .

Для узагальнення основних характеристик підприємства доцільно представити їх у табличній формі.

1.2. Структура виробництва і спеціалізація господарства

Рослинництво є ключовою складовою виробничої діяльності підприємства ТД «Agro Demetra» та визначає його економічну результативність. Основу виробництва формують зернові культури, проте в останні роки спостерігається тенденція до поступового розширення площ під високорентабельними овочевими культурами, що дозволяє підвищити загальну ефективність господарювання.

Для оцінки виробничої структури доцільно проаналізувати динаміку використання посівних площ у розрізі основних культур.

Аналіз структури посівів показує, що підприємство дотримується принципів раціональної сівозміни. Основна частка площ відведена під зернові культури, які забезпечують стабільність виробництва. Водночас помітне

збільшення площ під овочевими культурами свідчить про орієнтацію на більш прибуткові напрями.

Таблиця 1.2 – Динаміка та структура посівних площ підприємства

Культура	2025 р., га	Частка, %	2024 р., га	2023 р., га
Озима пшениця	65	18,6	61	59
Ярий ячмінь	63	18,0	62	60
Соняшник	59	16,9	58	62
Кукурудза (зерно)	50	14,3	55	58
Чорний пар	55	15,7	57	54
Багаторічні трави	25	7,1	23	22
Кукурудза (корм)	17	4,9	14	12
Овочеві культури	15	4,3	10	11
Разом	349	100	340	338

Наступним етапом є оцінка ефективності виробництва через показники урожайності.

Таблиця 1.3 – Зміна урожайності основних культур

Культура	2025 р., ц/га	2024 р., ц/га	2023 р., ц/га	Приріст 2025/2023, %
Озима пшениця	47	44	42	+11,9
Ярий ячмінь	39	36	34	+14,7
Кукурудза (зерно)	65	52	48	+35,4
Соняшник	22,4	19,2	17,5	+28,0
Овочеві культури	392	338	325	+20,6

Як видно з наведених даних, спостерігається стабільне зростання урожайності по всіх культурах. Найбільш суттєвий приріст характерний для кукурудзи та соняшнику, що може бути пов’язано з удосконаленням агротехнологій і оптимізацією систем удобрення. Овочеві культури також демонструють високу продуктивність, що підтверджує доцільність їх подальшого розвитку.

Оцінку загального виробничого потенціалу доцільно доповнити аналізом валового збору продукції.

Таблиця 1.4 – Динаміка валового виробництва продукції

Вид продукції	2023 р., ц	2024 р., ц	2025 р., ц	Зміна 2025/2023, %
Зернові культури	8650	9400	10850	+25,4
Овочеві культури	320	410	680	+112,5
Соняшник	720	760	810	+12,5

Аналіз валового збору свідчить про зростання обсягів виробництва за всіма напрямами. Найбільш динамічно розвивається овочівництво, де обсяг продукції зріс більш ніж удвічі. Це пояснюється як розширенням площ, так і підвищенням урожайності.

Разом із позитивними тенденціями у галузі рослинництва існують і певні проблеми. Однією з основних є висока трудомісткість вирощування овочевих культур, що пов’язано з недостатнім рівнем механізації окремих технологічних операцій. Крім того, недосконалість технічних засобів може призводити до нерівномірності виконання агротехнічних процесів, що негативно впливає на формування врожаю.

Таким чином, проведений аналіз показує, що підприємство має стійку тенденцію до розвитку рослинництва та значний потенціал для підвищення ефективності виробництва. Водночас наявні проблеми у сфері механізації, особливо в овочівництві, обґрунтовують необхідність впровадження сучасних технологій, зокрема мостового землеробства, яке дозволяє підвищити точність виконання операцій і зменшити витрати ресурсів.

1.3. Рівень механізації та енергозабезпечення технологічних процесів

Рівень механізації технологічних процесів є одним із ключових показників ефективності функціонування сільськогосподарського підприємства. Його оцінка дозволяє визначити ступінь використання технічних засобів, рівень автоматизації виробництва та наявність резервів підвищення продуктивності праці.

У ТД «Agro Demetra» більшість основних технологічних операцій у рослинництві виконуються із застосуванням машинно-тракторних агрегатів. Найвищий рівень механізації характерний для процесів вирощування зернових культур, тоді як у галузі овочівництва частина операцій залишається частково ручною. Для наочного відображення структури механізації технологічних процесів побудовано кругову діаграму (рис. 1.1).

Аналіз структури механізації показує, що повністю механізованими є процеси основного обробітку ґрунту та збирання зернових культур (100%). Високий рівень механізації також характерний для посіву зернових культур (96%) та захисту рослин (95%), що свідчить про достатній рівень технічного забезпечення цих операцій.

Разом із тим, внесення добрив механізовано на рівні 90%, що вказує на часткову залежність від ручної праці або недосконаліть технічних засобів. Найнижчий рівень механізації спостерігається у процесах заготівлі кормів (70%), догляду за посівами (68%) та збирання овочевих культур (60%). Це

свідчить про високу трудомісткість даних операцій і необхідність їх подальшої механізації.

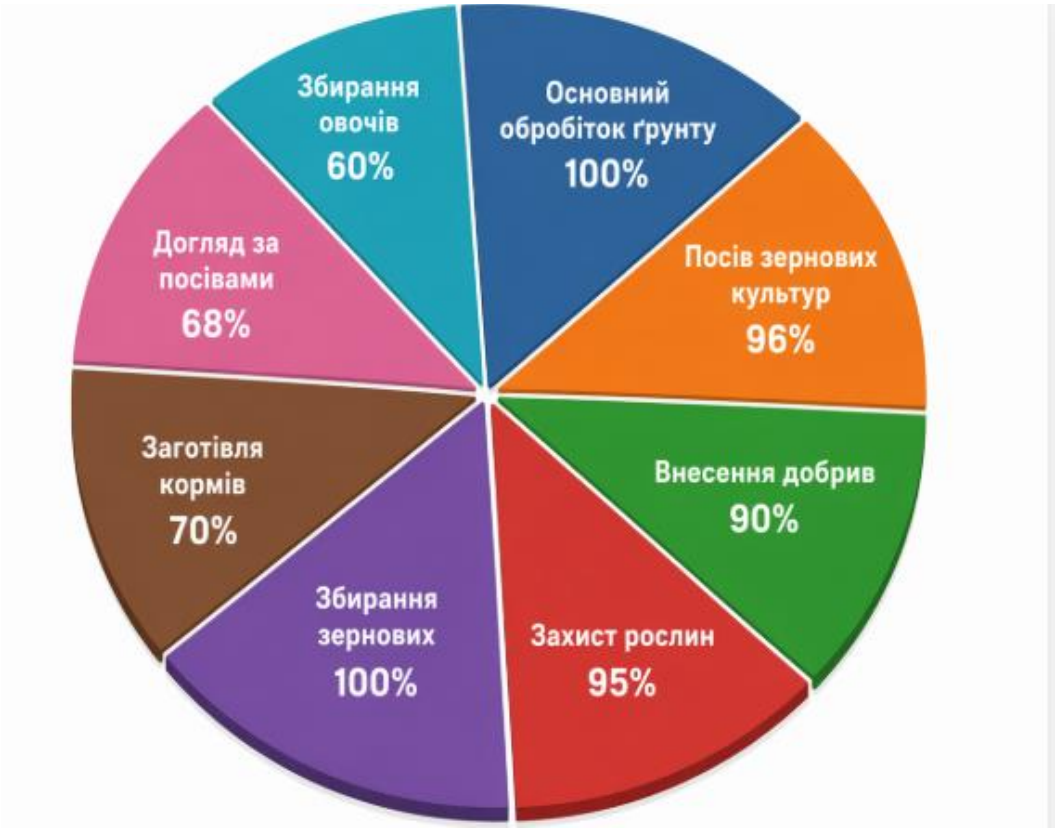


Рисунок 1.1 – Структура рівня механізації технологічних процесів

Матеріально-технічну основу господарства становить машинно-тракторний парк, який забезпечує виконання основних технологічних процесів.

Матеріально-технічну основу господарства становить машинно-тракторний парк, який забезпечує виконання основних технологічних процесів. Склад і кількісна структура техніки свідчать про достатній рівень оснащеності підприємства для виконання більшості польових робіт у встановлені агротехнічні строки (табл. 1.5). Наявність як універсальних, так і спеціалізованих машин дозволяє формувати ефективні машинно-тракторні агрегати відповідно до конкретних виробничих умов (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Машинно-тракторний парк підприємства

Вид техніки	Марка / модель	Кількість, шт.
Трактори	МТЗ-82, ЮМЗ-8040, ДТЗ-5504	5
Зернозбиральні комбайни	Нива СК-5, Claas Dominator 108	2
Вантажні автомобілі	ГАЗ-53, КамАЗ-5511	5
Сівалки зернові	СЗ-3,6	2
Сівалки точного висіву	УПС-8, СУПН-8	2
Обприскувачі	ОП-2000	2
Плуги	ПЛН-5-35	4
Культиватори	КПС-4	6
Борони	БЗСС-1,0	25
Косарки, граблі	КДП-300, ГВР-6	6
Навантажувачі	ПКУ-0,8	2

Наявний машинно-тракторний парк дозволяє забезпечити виконання основних польових робіт у встановлені агротехнічні строки. Водночас значна частина техніки є універсальною та орієнтованою на традиційні технології, що обмежує можливості впровадження високоточних систем землеробства.

Оцінка рівня механізації повинна доповнюватися аналізом енергозабезпеченості підприємства, яка характеризує рівень оснащеності виробництва енергетичними ресурсами.

Таблиця 1.7 – Показники енергозабезпеченості господарства

Показник	Значення
Площа ріллі, га	349
Кількість тракторів, шт.	5
Сумарна потужність, кВт	320
Потужність на 1 га, кВт/га	0,92
Забезпеченість тракторами, шт./100 га	1,43
Витрати дизельного пального, кг/га	55,9
Витрати бензину, кг/га	14,3

Проведений аналіз показує, що рівень енергозабезпеченості господарства відповідає середнім значенням для підприємств даного типу. Забезпеченість тракторами є достатньою для виконання основних технологічних операцій, однак спостерігається значна енергоємність виробництва.

Основною причиною цього є багаторазові проходи техніки по полю, що призводить до підвищення витрат пального та ущільнення ґрунту. Це негативно впливає на агрофізичні властивості ґрунту та ефективність використання ресурсів.

Таким чином, рівень механізації технологічних процесів у господарстві можна оцінити як достатній для базових операцій, однак він є нерівномірним за окремими напрямами виробництва. Особливої уваги потребує підвищення рівня механізації у галузі овочівництва.

У зв’язку з цим доцільним є впровадження сучасних технологій, зокрема мостового землеробства, яке дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити кількість проходів техніки по полю та знизити витрати енергоресурсів.

1.4. Економічні показники та обґрунтування доцільності проекту

Економічна ефективність діяльності сільськогосподарського підприємства визначається системою показників, що характеризують рівень використання виробничих ресурсів, продуктивність праці, рентабельність виробництва та фінансову стійкість господарства. Аналіз цих показників дозволяє оцінити сучасний стан підприємства та визначити резерви підвищення ефективності виробництва. У ТД «Agro Demetra» протягом останніх років спостерігається позитивна динаміка розвитку, що проявляється у зростанні обсягів виробництва, підвищенні рівня рентабельності та покращенні соціально-економічних показників. Для узагальненої оцінки розглянемо основні економічні показники діяльності підприємства.

Таблиця 1.8 – Основні економічні показники господарства

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Чисельність працівників, осіб	16	19	22
Середньомісячна зарплата, грн	12 500	14 800	17 200
Рентабельність зернових, %	30	34	38
Рентабельність овочів, %	90	105	118
Рентабельність тваринництва, %	24	27	30
Кредиторська заборгованість, тис. грн	13 800	12 100	9 500

Аналіз наведених даних свідчить про стабільне покращення економічного стану підприємства. Зростання чисельності працівників пов’язане з розширенням виробництва, а підвищення рівня заробітної плати свідчить про збільшення фінансових можливостей господарства.

Позитивною тенденцією є зменшення кредиторської заборгованості, що вказує на підвищення платоспроможності підприємства та зміцнення його фінансової стійкості. Це створює передумови для інвестування у модернізацію виробництва та впровадження нових технологій.

Рентабельність виробництва має стійку тенденцію до зростання. Особливо високі показники характерні для овочівництва, де рівень рентабельності перевищує 100%. Це пояснюється високим попитом на продукцію та можливістю її реалізації за вигідними цінами.

Разом із тим важливим показником є трудомісткість виробництва, яка суттєво впливає на собівартість продукції.

Таблиця 1.9 – Трудомісткість вирощування основних культур

Культура	2023 р., люд.-год/га	2024 р., люд.-год/га	2025 р., люд.-год/га
Озимі зернові	102	100	98
Ярі зернові	150	147	145
Кукурудза	85	83	80
Соняшник	44	43	42
Овочеві культури	480	465	450

Як видно з таблиці, вирощування овочевих культур є найбільш трудомістким процесом. Витрати праці у кілька разів перевищують аналогічні показники для зернових культур, що обумовлено недостатнім рівнем механізації окремих технологічних операцій.

Окрім трудомісткості, значний вплив на економічну ефективність має точність виконання агротехнічних операцій. Нерівномірність підготовки ґрунту, зокрема наявність грудкуватості, нерівностей поверхні та неоднорідної структури посівного шару, призводить до:

- погіршення якості висіву;
- нерівномірності сходів;
- зниження врожайності;
- перевитрат насіннєвого матеріалу та добрив.

Таким чином, навіть при високому рівні рентабельності підприємство має значні резерви підвищення ефективності виробництва.

У сучасних умовах одним із перспективних напрямів є впровадження мостової технології землеробства, яка дозволяє:

- мінімізувати ущільнення ґрунту;
- підвищити точність виконання технологічних операцій;
- зменшити витрати енергоресурсів;
- забезпечити автоматизацію виробничих процесів.

Важливою складовою цієї технології є застосування спеціалізованих модулів, зокрема модуля для вирівнювання поверхні ґрунту. Його використання дозволяє сформувати рівномірний посівний шар, що є критично важливим для овочевих культур і точного висіву.

Вирівнювання поверхні ґрунту забезпечує:

- покращення контакту насіння з ґрунтом;
- рівномірну глибину загортання;
- зниження втрат вологи;
- підвищення польової схожості.

У результаті впровадження такого модуля очікується:

- зниження трудомісткості технологічних операцій;
- скорочення витрат на обробіток ґрунту;
- підвищення врожайності культур;
- зменшення собівартості продукції.

Отже, проведений економічний аналіз діяльності підприємства підтверджує наявність передумов для впровадження інноваційних технічних рішень. Розробка та застосування модуля для вирівнювання поверхні ґрунту в системі мостового землеробства є економічно доцільною та сприятиме підвищенню ефективності виробництва.

1.5. Висновки

1. Проведений аналіз господарської діяльності ТД «Agro Demetra» показав, що підприємство має стабільну виробничу базу, достатній рівень технічного забезпечення та позитивну динаміку економічних показників, зокрема зростання рентабельності та зменшення кредиторської заборгованості.

2. Встановлено, що рівень механізації технологічних процесів є нерівномірним: при високій механізації у зерновому виробництві спостерігається значна частка ручної праці в овочівництві, що обумовлює підвищену трудомісткість та енергоємність виробництва.

3. Обґрунтовано доцільність впровадження мостової технології землеробства та розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту, що дозволить підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити витрати ресурсів і забезпечити зростання ефективності виробництва.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Агротехнічні вимоги та механізація процесу вирівнювання поверхні ґрунту

Якість підготовки поверхні ґрунту є визначальним фактором для формування рівномірних сходів і стабільного розвитку сільськогосподарських культур [5-7]. Особливо це актуально для овочевих культур та культур точного висіву, де відхилення у мікрорельєфі поверхні безпосередньо впливають на глибину загортання насіння та рівномірність його розміщення.

У виробничих умовах після виконання основного та передпосівного обробітку на поверхні поля часто залишаються нерівності у вигляді гребенів, борозен, грудок та локальних западин. Такі дефекти призводять до нерівномірного розподілу вологи, погіршення контакту насіння з ґрунтом та зниження польової схожості. За результатами виробничих спостережень, відхилення рівня поверхні навіть у межах ±3…5 см можуть знижувати рівномірність сходів на 10–15%, а для овочевих культур – до 20% [6].

З огляду на це до процесу вирівнювання поверхні ґрунту висувається комплекс агротехнічних вимог, які повинні забезпечувати оптимальні умови для подальших технологічних операцій [5-7].

До основних агротехнічних вимог належать:

- формування вирівняної поверхні з відхиленням не більше ±2…3 см;
- забезпечення дрібногрудкуватої структури ґрунту з розміром агрегатів 1–5 мм для посівного шару;
- відсутність великих грудок (>25–30 мм), які можуть перешкоджати загортанню насіння;
- збереження капілярної структури ґрунту для утримання вологи;
- недопущення переущільнення верхнього шару (щільність не більше 1,2–1,3 г/см³ для більшості культур);

- забезпечення рівномірності поверхні по всій ширині захвату агрегату.

Виконання цих вимог безпосередньо впливає на якість висіву. Наприклад, при нерівній поверхні відбувається коливання глибини загортання насіння в межах 2–4 см, що для культур із малою енергією проростання є критичним фактором. У результаті сходи з’являються нерівномірно, що ускладнює подальший догляд за посівами.

Процес вирівнювання поверхні ґрунту є складовою передпосівного обробітку і, як правило, виконується після культивації. У традиційних технологіях для цього застосовуються борони, шлейфи, котки та комбіновані агрегати [7-12]. Однак ефективність їх роботи значною мірою залежить від стану ґрунту, вологості та швидкості руху агрегату.

Для кількісної оцінки вимог до якості вирівнювання наведемо узагальнені показники.

Таблиця 2.1 – Основні агротехнічні вимоги до вирівнювання поверхні ґрунту

Показник	Одиниця виміру	Допустиме значення
Відхилення поверхні	см	±2…3
Розмір грудок у посівному шарі	мм	1–5
Максимальний розмір грудок	мм	≤25
Щільність ґрунту	г/см³	1,1–1,3
Глибина обробітку	см	4–8
Вологість ґрунту	%	60–75 від НВ
Нерівномірність глибини	%	≤10

Аналіз наведених даних показує, що забезпечення високої якості вирівнювання потребує дотримання досить жорстких параметрів. Особливо важливим є контроль розміру грудок і рівності поверхні, оскільки саме ці показники найбільше впливають на якість висіву.

З технологічної точки зору процес вирівнювання ґрунту можна розглядати як сукупність механічних дій робочих органів на верхній шар ґрунту, які включають:

- зрізання нерівностей;
- переміщення ґрунтової маси;
- подрібнення грудок;
- ущільнення поверхневого шару;
- формування рівномірного профілю.

Ефективність виконання цих операцій визначається типом робочих органів, їх геометрією, швидкістю руху та глибиною обробітку. Зокрема, при швидкості руху 6–8 км/год забезпечується достатня якість вирівнювання, тоді як при збільшенні швидкості понад 10 км/год спостерігається погіршення якості через нерівномірний розподіл ґрунту.

Важливим фактором є також вологість ґрунту. При надмірній вологості (понад 80% від НВ) відбувається злипання ґрунтових агрегатів, що ускладнює їх руйнування. У сухому стані (менше 50% від НВ) ґрунт стає надто твердим, що призводить до зростання енерговитрат і зниження ефективності подрібнення.

У сучасних умовах особливого значення набуває механізація процесу вирівнювання ґрунту. Вона дозволяє підвищити продуктивність праці, забезпечити стабільну якість виконання операцій і зменшити залежність від людського фактору.

Рівень механізації цього процесу в більшості господарств становить 70–90%, проте для овочевих культур він часто не перевищує 60–65%. Це пов’язано

з необхідністю виконання додаткових ручних операцій або використанням малоефективних технічних засобів.

У цьому контексті перспективним є застосування мостової технології землеробства, яка передбачає виконання технологічних операцій безпосередньо з агромоста без контакту ходових систем із ґрунтом. Це дозволяє усунути проблему ущільнення та забезпечити стабільність параметрів обробітку.

Використання спеціалізованого модуля для вирівнювання поверхні ґрунту у складі агромоста відкриває можливість:

- забезпечення високої точності вирівнювання;
- стабілізації глибини обробітку;
- автоматизації процесу;
- зменшення енерговитрат;
- підвищення якості посівного шару.

Крім того, інтеграція модуля у мехатронну систему дозволяє реалізувати адаптивне керування робочими органами залежно від стану ґрунту, що є важливим кроком до впровадження технологій точного землеробства.

Таким чином, процес вирівнювання поверхні ґрунту є важливою складовою технології вирощування сільськогосподарських культур і потребує застосування сучасних технічних рішень. Проведений аналіз агротехнічних вимог та рівня механізації свідчить про наявність резервів підвищення ефективності цього процесу, що обґрунтовує необхідність розробки спеціалізованого модуля для використання в умовах мостового землеробства.

2.2. Огляд існуючих машин і знарядь для вирівнювання ґрунту

Вирівнювання поверхні ґрунту після основного та передпосівного обробітку здійснюється широким спектром машин – від простих пасивних знарядь до складних комбінованих агрегатів із кількома робочими зонами. Необхідність виконання цієї операції обумовлена потребою формування

рівномірного посівного шару, який забезпечує однакові умови для проростання насіння та подальшого розвитку рослин. У практиці землеробства якість вирівнювання поверхні ґрунту безпосередньо впливає на точність висіву, рівномірність сходів і ефективність використання вологи.

Вибір конкретних технічних засобів залежить від комплексу факторів, серед яких визначальними є гранулометричний склад ґрунту, його вологість, ступінь ущільнення, попередній обробіток, а також біологічні вимоги вирощуваної культури. Крім того, значний вплив має прийнята в господарстві технологічна схема, рівень механізації та енергозабезпеченості, а також можливості агрегатування з наявними енергетичними засобами.

Слід зазначити, що традиційні машини для вирівнювання ґрунту здебільшого виконують обмежений набір функцій і не завжди забезпечують необхідну якість обробітку за один прохід. Це призводить до збільшення кількості технологічних операцій, підвищення витрат пального та додаткового ущільнення ґрунту. У сучасних умовах це є суттєвим недоліком, особливо при вирощуванні культур, чутливих до стану посівного шару.

У зв’язку з цим актуальним є аналіз існуючих технічних рішень з метою визначення їх ефективності, конструктивних особливостей та обмежень у застосуванні. Особлива увага приділяється можливості їх використання в умовах сучасних технологій, зокрема мостового землеробства, де висуваються підвищені вимоги до точності та стабільності виконання операцій.

Розглянемо найбільш поширені машини і знарядя для вирівнювання поверхні ґрунту. І розпочнемо аналіз з найбільш поширених знарядь для вирівнювання грунту зубових та пружинних борін (рис. 2.1). Борони є найпростішими знаряддями для часткового вирівнювання мікрорельєфу. Вони виконують розпушування поверхневого шару, руйнування ґрунтової кірки та вирівнювання дрібних нерівностей. Зубові борони ефективні на легких і середніх ґрунтах, пружинні – краще працюють на ущільнених ділянках і після культивації.



а б

Рисунок 2.1 Борони:

а – зубові; б – пружинні

В таблиці 2.1 наведено типові експлуатаційно-конструктивні параметри борін.

Таблиця 2.2 – Типові технічні характеристики борін

Показник	Значення
Ширина захвату, м	6–12
Робоча швидкість, км/год	8–12
Глибина обробітку, см	2–6
Продуктивність, га/год	5–10
Агрегатування	трактори 80–150 к.с.

Як уже говорилося борони відзначаються простотою конструкції, невисокою вартістю та можливістю роботи на підвищених швидкостях, що забезпечує достатню продуктивність. Завдяки малій масі їх можна агрегатувати з тракторами невеликої потужності. Разом із тим борони мають суттєві обмеження. Вони малоефективні при вирівнюванні значних нерівностей, не забезпечують формування однорідного дрібногрудкуватого посівного шару та значною мірою залежать від вологості ґрунту [13]. Крім того, спостерігається нерівномірність обробітку по ширині захвату та відсутність ущільнення поверхні, що потребує додаткового застосування інших знарядь. Отже, борони доцільно використовувати як допоміжні засоби для попереднього вирівнювання та розпушування ґрунту, переважно у складі комбінованих агрегатів.

Ще одними машинами, що належать до групи простих планувальних знарядь відносяться шлейфи (рис. 2.2). Вони призначені для вирівнювання поверхні ґрунту після оранки або культивації. Принцип їх роботи полягає у зрізанні виступів мікрорельєфу та переміщенні ґрунтової маси в пониження, що забезпечує формування більш рівномірної поверхні поля.

Конструктивно шлейф являє собою жорстку або шарнірну раму з прикріпленими робочими елементами у вигляді планок, брусів або металевих листів, які контактують із поверхнею ґрунту. У процесі руху агрегату ці елементи здійснюють вирівнювання шляхом перерозподілу ґрунту без значного його розпушування.

Залежно від конструктивних особливостей і призначення виділяють такі основні різновиди шлейфів [7, 9, 12]:

- ланцюгові шлейфи, що складаються з гнучких секцій і добре копіюють рельєф поверхні;
- планувальні балки (жорсткі шлейфи), які забезпечують більш інтенсивне вирівнювання;
- рейкові (зубчасті) шлейфи, оснащені додатковими елементами для часткового подрібнення грудок;

- комбіновані шлейфи, які поєднують вирівнювальні та розпушувальні функції [15].



а



б



в



г

Рисунок 2.2 – Шлейфи:

а - планувальні (балкові); б - комбіновані; в –борінні;

г - ланцюгові

У сільськогосподарському виробництві застосовуються як вітчизняні, так і зарубіжні моделі шлейфів. Серед поширених можна відзначити: шлейфи типу ШП-6, ШП-8 (Україна); вирівнювачі ґрунту ВШ-6; планувальні дошки та вирівнювачі компаній Lemken, Amazone (ЄС); агрегати типу Land Leveler (США) [13-17].

Для оцінки ефективності застосування шлейфів доцільно розглянути їх основні технічні параметри (табл. 2.3).

Таблиця 2.3 – Характеристики шлейфів

Показник	Класичні	Комбіновані
Ширина захвату, м	3–10	4-12
Робоча швидкість, км/год	6–10	8-12
Глибина впливу, см	3–8	4-10
Продуктивність, га/год	3–8	6–15
Маса, кг	300–1200	500-1400
Агрегатування	трактори 60–150 к.с.	трактори 120–300 к.с

Аналіз наведених параметрів показує, що шлейфи забезпечують відносно високу продуктивність при невеликих енерговитратах. Вони ефективно усувають нерівності після оранки та формують вирівняну поверхню, придатну для подальших технологічних операцій.

Разом із тим шлейфи мають обмежену ефективність щодо подрібнення грудок і не забезпечують формування повноцінного посівного шару [18]. Якість їх роботи значною мірою залежить від вологості ґрунту: при надмірній вологості можливе налипання ґрунту, а в сухих умовах – недостатнє вирівнювання.

Таким чином, шлейфи доцільно застосовувати як проміжний етап вирівнювання поверхні ґрунту, переважно в поєднанні з іншими знаряддями (боронами, котками або комбінованими агрегатами), що забезпечують завершальну підготовку посівного шару.

Високоточні планувальні системи (лазерні та 3D). Вирівнювання поверхні ґрунту з високою точністю є важливим етапом сучасного землеробства, особливо при вирощуванні культур, чутливих до мікрорельєфу поля, а також у системах зрошення. Для досягнення високої якості планування застосовуються

високоточні системи, які працюють на основі лазерного або супутникового керування.

Лазерні системи вирівнювання ґрунту функціонують за принципом передачі сигналу від стаціонарного лазерного передавача до приймача, встановленого на робочому органі машини (рис. 2.3). Отриманий сигнал використовується для автоматичного регулювання положення планувального відвалу або скрепера. Це дозволяє забезпечити високу точність вирівнювання поверхні, яка зазвичай знаходиться в межах ±1…2 см.

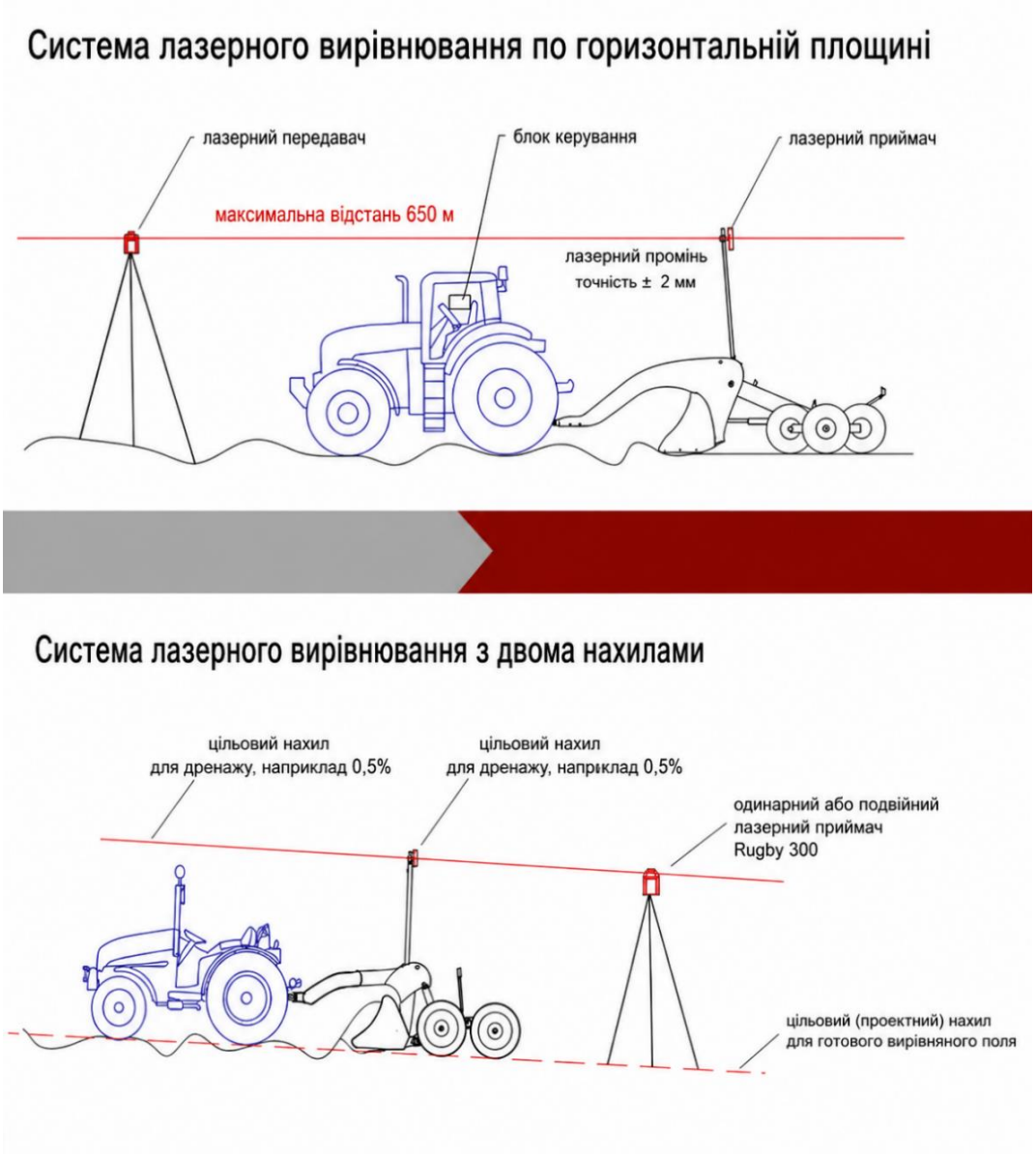


Рисунок 2.3 – Лазерні системи вирівнювання ґрунту

3D-системи базуються на використанні супутникових навігаційних технологій (GPS або GNSS) та цифрових моделей рельєфу (рис. 2.4). Вони дозволяють виконувати вирівнювання за заданими координатами без необхідності встановлення стаціонарного обладнання на полі. Такі системи є більш гнучкими у використанні та придатні для обробітку великих площ, хоча їх точність дещо нижча і становить близько ±2…3 см [19].



Рисунок 2.4 – Вирівнювання грунту 3D системою

У виробничій практиці широко використовуються системи компаній Trimble, Topcon та Leica Geosystems, які пропонують як лазерні, так і супутникові рішення для керування планувальними агрегатами. У якості робочих органів найчастіше застосовуються скрепери або планувальні відвали шириною 2–8 м, які агрегатуються з тракторами потужністю 150–350 к.с. Робоча швидкість таких агрегатів зазвичай становить 4–10 км/год, а продуктивність – від 1 до 6 га/год залежно від умов роботи.

Основною перевагою високоточних планувальних систем є можливість формування практично ідеально рівної поверхні поля, що позитивно впливає на рівномірність зволоження, якість висіву та розвиток рослин. У зрошуваному

землеробстві це дозволяє зменшити витрати води на 15–25% та підвищити ефективність використання добрив.

Таблиця 2.4 – Характеристики високоточних систем

Показник	Лазерні системи	3D-системи (GNSS)
Точність вирівнювання, см	±1…2	±2…3
Ширина захвату, м	2–5	3–8
Робоча швидкість, км/год	4–8	5–10
Продуктивність, га/год	1–3	2–6
Глибина зрізу, см	до 15	до 20
Потужність трактора, к.с.	150–300	180–350
Система керування	лазерний передавач	GPS
Вартість системи, тис. $	10–25	20–50

Разом із тим такі системи мають ряд суттєвих обмежень. Насамперед це висока вартість обладнання, яка може становити десятки тисяч доларів, що обмежує їх застосування у господарствах середнього рівня [20]. Крім того, для їх ефективного використання необхідна підготовка персоналу та наявність відповідної інфраструктури. Процес вирівнювання також супроводжується значними енерговитратами, оскільки передбачає переміщення великих об’ємів ґрунту.

Важливою особливістю є те, що такі системи орієнтовані переважно на глобальне планування поверхні поля, а не на виконання локальних технологічних операцій у процесі вирощування культур. У зв’язку з цим їх застосування не завжди є доцільним у межах технологій мостового землеробства, де необхідна висока точність при мінімальних енерговитратах і можливість інтеграції у мехатронні системи.

Таким чином, високоточні планувальні системи забезпечують найвищу якість вирівнювання поверхні ґрунту, однак їх використання є обмеженим через високу вартість і специфічні умови застосування. Це обґрунтовує доцільність пошуку альтернативних технічних рішень, зокрема розробки компактних модулів вирівнювання, які можуть ефективно працювати у складі агромостових систем.

Розглянуті технічні засоби дозволяють вирішувати окремі задачі вирівнювання, однак жоден із них не є універсальним для отримання стабільно високої якості посівного шару за різних умов. Пасивні знаряддя (борони, шлейфи) ефективні лише для часткового вирівнювання, котки – для ущільнення і доробки поверхні, тоді як комбіновані агрегати забезпечують кращий результат, але потребують потужної техніки та точного налаштування.

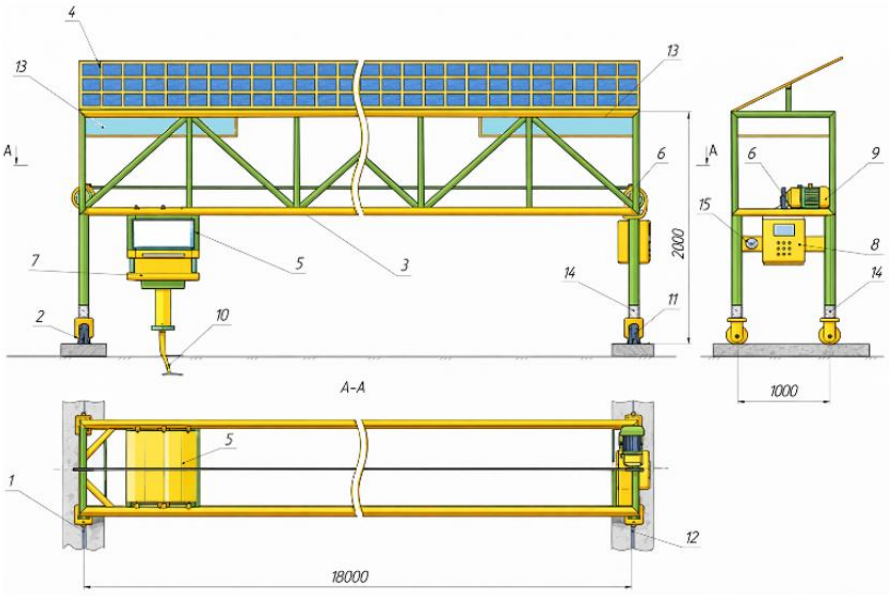
Суттєвим обмеженням традиційних рішень є залежність якості від вологості ґрунту, швидкості руху та кваліфікації оператора, а також необхідність кількох проходів по полю. Це призводить до підвищення енерговитрат і ущільнення ґрунту.

У зв’язку з цим перспективним є перехід до виконання операції вирівнювання у складі мостових агротехнологічних систем із застосуванням спеціалізованих модулів. Такий підхід дозволяє стабілізувати глибину і параметри обробітку, зменшити кількість проходів та підвищити точність формування посівного шару, що і визначає напрям подальших досліджень у роботі.

2.3. Особливості вирівнювання грунту в мостовій технології землеробства

Мостова технологія землеробства є перспективним напрямом розвитку аграрного виробництва [21-22], який базується на використанні спеціалізованих машин, що переміщуються по постійних напрямних елементах (рейках або коліях), розташованих над поверхнею поля. Такий підхід дозволяє виключити контакт ходових систем машин із оброблюваним ґрунтом, що принципово відрізняє його від традиційних технологій.

Конструктивна схема агромостової машини наведена на рисунку 2.5. Основними елементами є просторова ферма (3), що переміщується по напрямних рейках (1, 12) за допомогою мотор-коліс (2, 11), каретка (5), яка забезпечує переміщення робочих модулів, а також система енергозабезпечення у вигляді сонячних панелей (4) та акумуляторних батарей (13).



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 2.5 – Конструктивна схема агромостової машини

Однією з основних переваг мостової технології є відсутність ущільнення ґрунту, яке виникає внаслідок руху тракторів і сільськогосподарських машин у традиційних системах. Ущільнення призводить до зниження пористості ґрунту, погіршення водно-повітряного режиму та зменшення врожайності. У мостових системах ця проблема практично усувається, що створює сприятливі умови для формування якісного посівного шару.

Разом із тим, на відміну від традиційних агрегатів, робочі модулі агромоста оснащуються опорними колесами. Їх вплив на ґрунт є значно меншим порівняно з рушіями тракторів, однак вони забезпечують стабілізацію положення робочих органів. Завдяки цьому досягається точне копіювання поверхні поля та підтримання заданої глибини обробітку і висіву, що є критично важливим для отримання рівномірних сходів.

Процес вирівнювання ґрунту в умовах мостового землеробства має ряд специфічних особливостей. Насамперед він виконується локально, в межах робочої зони модуля, що переміщується вздовж ферми. Це означає, що необхідна якість поверхні повинна досягатися за один прохід без можливості багаторазового коригування.

Важливою вимогою є забезпечення рівномірності обробітку по всій ширині робочого захвату. Оскільки ширина модуля обмежена конструкцією агромоста, будь-які відхилення у положенні робочих органів можуть призводити до формування нерівностей поверхні, які складно усунути на наступних етапах.

Ще однією особливістю є необхідність стабілізації глибини обробітку. У традиційних машинах це досягається за рахунок опори на ґрунт, тоді як у мостових системах контроль здійснюється за допомогою опорних коліс і систем керування. Відхилення глибини навіть на 1–2 см можуть суттєво впливати на якість вирівнювання та ефективність подальших операцій.

Важливим фактором є також енергоефективність процесу. Оскільки агроміст має обмежені енергетичні ресурси, застосування важких і енергоємних

машин є недоцільним. Це обумовлює необхідність використання легких, але ефективних робочих органів, здатних виконувати одночасно кілька функцій – розпушування, подрібнення та вирівнювання ґрунту.

Основні конструктивно-технологічні та енергетичні параметри агромостової машини наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні параметри агромостової машини

Показник	Значення
Ширина прольоту, м	18
Висота ферми, мм	2000
Тип приводу	електричний
Джерело енергії	сонячні панелі + АКБ
Потужність приводу, кВт	2–4
Швидкість переміщення, м/с	0,1–0,5
Робоча ширина модуля, м	0,9–1,1
Кількість мотор-коліс	4
Споживання енергії, кВт·год/га	2–5

Аналіз наведених параметрів свідчить, що агромостова система характеризується низькою енергоємністю та високою точністю виконання технологічних операцій. Використання електроприводу забезпечує плавність руху та можливість автоматизації процесів, що є важливим для стабільного вирівнювання поверхні ґрунту.

У порівнянні з традиційними технологіями мостове землеробство забезпечує:

- відсутність ущільнення ґрунту;
- підвищену точність обробітку;

- зменшення кількості проходів техніки;
- можливість автоматизації технологічних процесів.

Разом із тим існують і певні обмеження, зокрема необхідність високої точності виготовлення конструкції, обмеження по масі робочих органів та потреба у спеціалізованих модулях для виконання окремих операцій.

Таким чином, вирівнювання ґрунту в умовах мостової технології є більш керованим і точним процесом, однак потребує застосування спеціалізованих технічних рішень. Це обґрунтовує необхідність розробки модуля вирівнювання поверхні ґрунту, який відповідає вимогам точності, енергоефективності та інтеграції у мехатронну систему агромоста.

2.4. Висновки

Проаналізовано агротехнічні вимоги до вирівнювання поверхні ґрунту та розглянуто існуючі технічні засоби для виконання цієї операції. Встановлено, що якість вирівнювання безпосередньо впливає на рівномірність висіву, формування сходів і врожайність культур.

Дослідження показало, що традиційні машини мають суттєві обмеження: борони та шлейфи забезпечують лише часткове вирівнювання, котки виконують функцію ущільнення, а комбіновані агрегати є енергоємними. Високоточні системи забезпечують високу якість, але обмежені високою вартістю.

Встановлено, що мостова технологія створює нові умови для обробітку ґрунту, забезпечуючи високу точність і відсутність ущільнення. Водночас це потребує спеціалізованих технічних рішень.

Отже, обґрунтовано доцільність розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту, який забезпечить підвищення ефективності технологічних процесів у системі агромоста.

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування конструктивної схеми модуля вирівнювання ґрунту

На основі проведеного аналізу агротехнічних вимог та існуючих технічних засобів (розділ 2) встановлено, що процес вирівнювання поверхні ґрунту є визначальним фактором забезпечення якості посівного шару та ефективності подальших технологічних операцій [24]. Особливо це актуально в умовах мостової технології землеробства, де підвищуються вимоги до точності виконання операцій, енергоефективності та стабільності параметрів обробітку.

У традиційних технологіях вирівнювання досягається за рахунок багаторазових проходів агрегатів різного призначення, що супроводжується значними енерговитратами та ущільненням ґрунту. У мостовій технології така схема є неприйнятною, оскільки робота виконується локально, в межах робочої зони агромоста, і повинна забезпечувати необхідну якість за один прохід.

Конструктивна схема запропонованого модуля вирівнювання поверхні ґрунту наведена на рисунку 3.1.

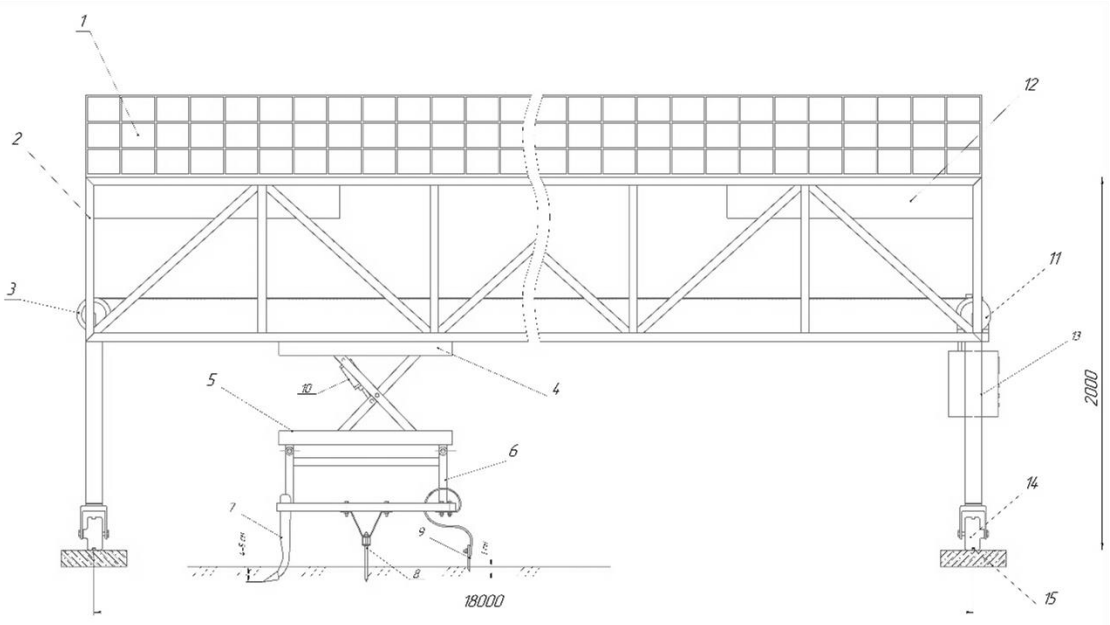


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема модуля для вирівнювання поверхні ґрунту

Модуль 6 встановлюється на каретці 4 агромоста та переміщується вздовж ферми, виконуючи технологічні операції у заданій смузі обробітку. Вихідними параметрами для розробки конструкції є характеристики агромостової машини, зокрема ширина прольоту 18 м, висота прогінної частини 1000 мм, а також обмежена потужність приводу каретки, яка не перевищує 3 кВт.

Ці обмеження визначають основні вимоги до конструкції модуля:

- мінімальна маса та габарити;
- низький тяговий опір;
- відсутність енергоємних активних робочих органів;
- можливість виконання операції за один прохід;
- стабільність глибини обробітку.

З урахуванням зазначених вимог обрана спрощена конструктивна схема модуля, яка включає:

- розпушувальні робочі органи;
- рейкові вирівнювальні граблі;
- опорні колеса;
- несучу раму з системою регулювання.

Рама модуля виконує функцію базового несучого елемента та забезпечує кріплення всіх складових. Вона виготовляється з профільних сталевих елементів (прямокутні або квадратні труби), що забезпечує достатню жорсткість при відносно невеликій масі. Конструкція передбачає можливість регулювання положення робочих органів, що дозволяє адаптувати модуль до різних умов роботи.

Розпушувальні робочі органи розташовані у передній частині модуля та виконані у вигляді лап 7 пружинних зубів 8. Вони працюють на глибині 3–5 см і забезпечують руйнування поверхневої кірки, розпушування ущільненого шару та підготовку ґрунту до подальшого вирівнювання. Конструкція пружинних зубів 8 дозволяє зменшити ударні навантаження та забезпечити стабільну роботу навіть при наявності нерівностей.

Основним вирівнювальним елементом модуля є підпружиненні рейкові граблі 9, які встановлюються за розпушувальними органами. Вони являють собою поперечну рейку із зубами, розташованими вертикально до напрямку руху. Крок розміщення зубів становить 30–60 мм, що забезпечує рівномірний розподіл ґрунтової маси.

Рейкові граблі виконують такі функції:

- зрізання виступів мікрорельєфу;
- переміщення ґрунту у зони пониження;
- згладжування поверхні;
- часткове подрібнення грудок.

На відміну від планувальних ножів або котків, рейкові граблі створюють значно менший опір руху, що є критично важливим при обмеженій потужності приводу.

Опорні колеса у даного модуля відсутні підтримання заданого рівня поверхні грунту здійснюється за допомогою адаптивного механізму агрегатування 5. Він дозволяють підтримувати стабільну глибину обробітку та положення робочих органів завдяки системі позиціонування де виконавчим механізмом являється лінійний двигун 10.

Робочий процес модуля відбувається наступним чином. При переміщенні каретки 4 агромоста 2 розпушувальні лапи 7 та зуби 8 спочатку руйнують поверхневий шар ґрунту та переводять його у розпушений стан. Далі підпружиненні рейкові граблі здійснюють перерозподіл ґрунтової маси, зрізаючи виступи та заповнюючи пониження. У результаті формується рівномірна поверхня із заданими агротехнічними параметрами.

Важливою особливістю є те, що всі операції виконуються за один прохід, що дозволяє:

- зменшити енерговитрати;
- підвищити продуктивність;
- уникнути повторного ущільнення ґрунту.

Виключення ущільнювального котка з конструкції є обґрунтованим рішенням, оскільки він створює додатковий тяговий опір і збільшує масу модуля. При цьому необхідний рівень ущільнення може бути досягнутий у процесі подальших технологічних операцій.

Оцінка енергетичних параметрів показує, що запропонована схема дозволяє забезпечити стабільну роботу модуля при потужності приводу до 3 кВт. Це досягається за рахунок використання пасивних робочих органів та мінімізації опору руху.

Таким чином, обрана конструктивна схема модуля вирівнювання ґрунту є раціональною для використання у складі агромостової машини. Вона забезпечує поєднання простоти конструкції, енергоефективності та достатньої якості виконання технологічної операції.

Запропоноване рішення відповідає сучасним вимогам точного землеробства та створює передумови для подальшого виконання інженерних розрахунків і оптимізації параметрів робочих органів.

3.2. Розрахунок основних параметрів і режимів роботи модуля

Метою розрахунку є визначення геометричних, кінематичних та енергетичних параметрів модуля вирівнювання ґрунту, а також перевірка їх відповідності агротехнічним вимогам і обмеженням агромостової машини. Розрахунок виконується для прийнятої конструктивної схеми (розпушувальні зуби + рейкові граблі) з урахуванням обмеження потужності приводу каретки $Nmax \leq 3$ кВт. Вихідні дані для розрахунку приймаємо згідно додатку А. Нижче приведено деякі із них.

$B = 1{,}6$ м $-$ ширина захвату; $h = 0{,}04$ м $-$ глибина обробітку; $v = 0{,}3$ м/с - швидкість перміщення модуля; $k = 30000$ Н/м^2 $-$ питомий опір грунту;

$\eta = 0{,}85$ - коефіцієнт корисної дії механічної передачі та електроприводу, який враховує втрати енергії в системі.

Продуктивність модуля

Продуктивність модуля визначає площу оброблюваної поверхні за одиницю часу та є одним із основних показників ефективності роботи [25, 26].

Миттєва продуктивність визначається за формулою:

$$Q = B \cdot v \tag{3.1}$$

де: B – ширина захвату модуля, м;

v – швидкість руху, м/с.

Підставляємо значення:

$$Q = 1{,}6 \cdot 0{,}3 = 0{,}48\ \text{м}^2/\text{с}$$

Годинна продуктивність визначається як:

$$Q_{\text{год}} = \frac{B \cdot v \cdot 3600}{10000} \tag{3.2}$$

Підставляємо значення:

$$Q_{\text{год}} = \frac{1{,}6 \cdot 0{,}3 \cdot 3600}{10000} = 0{,}173\ \text{га/год}$$

Об'єм обробітку

Об'єм ґрунту, що обробляється модулем за одиницю часу, визначається за формулою:

$$V = B \cdot h \cdot v \tag{3.3}$$

де: B – ширина захвату модуля, м;

h – глибина обробітку, м;

v – швидкість руху, м/с.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$V = 1{,}6 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}3 = 0{,}0192 \text{ м}^3/\text{с}$$

Питомий опір грунту

Питомий опір ґрунту визначається як відношення тягового зусилля до площі поперечного перерізу оброблюваного шару:

$$k = \frac{F}{B \cdot h} \tag{3.4}$$

де: k – питомий опір ґрунту, Н/м²;

F – тяговий опір, Н;

В – ширина захвату, м;

h – глибина обробітку, м.

Для подальших розрахунків значення питомого опору приймається за довідковими даними залежно від типу ґрунту:

$$k = 30000 \text{ Н/м}^2$$

Тяговий опір модуля

Тяговий опір модуля визначається як сума опорів окремих робочих органів.

Тяговий опір розпушувальних органів:

$$F_1 = k \cdot B \cdot h \tag{3.5}$$

Де k – питомий опір ґрунту, Н/м²;

В – ширина захвату, м;

h – глибина обробітку, м.

Підставляємо значення:

$$F_1 = 30000 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}04 = 1920 \text{ Н}$$

Опір рейкових грабель приймається як частка від опору розпушувачів:

$$F_2 = 0{,}2 \cdot F_1 \quad (3.6)$$

$$F_2 = 0{,}2 \cdot 1920 = 384 \text{ Н}$$

Загальний тяговий опір:

$$F = F_1 + F_2 \quad (3.7)$$

$$F = 1920 + 384 = 2304 \text{ Н}$$

З урахуванням коефіцієнта запасу: $k_з = 1{,}1$

$$F_з = F \cdot k_з = 2304 \cdot 1{,}1 = 2534 \text{ Н} \quad (3.8)$$

Розрахунок потужності приводу

Потужність, необхідна для переміщення модуля, визначається за тяговим зусиллям і швидкістю руху.

Корисна потужність визначається за формулою:

$$N_к = F \cdot v \quad (3.9)$$

де F – тяговий опір, Н;

v – швидкість руху, м/с.

Підставляємо значення:

$$N_{\text{к}} = 2304 \cdot 0{,}3 = 691 \text{ Вт}$$

Розрахункова потужність з урахуванням ККД приводу:

$$N = \frac{F \cdot v}{\eta} \quad (3.10)$$

де: η\ – коефіцієнт корисної дії приводу.

$$N = \frac{691}{0{,}85} = 813 \text{ Вт}$$

Отримане значення становить:

$$N \approx 0{,}81 \text{ кВт}$$

Перевірка відповідності обмеженням агромостової машини:

$$N \leq 3 \text{ кВт} \quad (3.11)$$

Оскільки 0,81<3, умова виконується, що свідчить про можливість стабільної роботи модуля при заданих параметрах.

Параметри робочих зубів

Для забезпечення ефективної роботи рейкових грабель необхідно визначити кількість зубів та навантаження, яке діє на кожен із них.

Кількість зубів визначається залежно від ширини захвату та кроку їх розміщення:

$$n = \frac{B}{t} \quad (3.12)$$

де B – ширина захвату, м;

t – крок розміщення зубів, м.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$n = \frac{1{,}6}{0{,}04} = 40 \text{ шт}$$

Сила, що діє на один зуб:

$$F_{\text{зуб}} = \frac{F_1}{n} \quad (3.13)$$

де: F_1 – тяговий опір розпушувальних органів, Н.

$$F_{\text{зуб}} = \frac{1920}{40} = 48 \text{ Н}$$

Згинальний момент, що діє на зуб:

$$M = F_{\text{зуб}} \cdot l \quad \text{l} \quad (3.14)$$

де l – довжина робочої частини зуба, м.

Напруження згину визначається за формулою [27]:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (3.15)$$

де: W – момент опору перерізу зуба, м³.

Для прямокутного перерізу момент опору:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (3.16)$$

де: b – ширина зуба, м;

h – висота перерізу зуба, м.

Параметри рейкових грабель

Для забезпечення ефективного вирівнювання поверхні ґрунту необхідно визначити основні параметри рейкових грабель та навантаження, що на них діє.

Сила опору, що виникає при роботі грабель, визначається за формулою:

$$F_{\text{гр}} = k \cdot B \cdot h \tag{3.17}$$

де: k – питомий опір ґрунту, Н/м²;

B – ширина захвату, м;

h – глибина обробітку, м.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$F_{\text{гр}} = 30000 \cdot 1{,}6 \cdot 0{,}04 = 1920 \text{ Н}$$

Кут атаки грабель визначається з урахуванням геометрії робочих органів:

$$\alpha = \arctan\left(\frac{h}{l}\right) \tag{3.18}$$

де: l – довжина зуба, м.

Для ефективної роботи приймаємо:

α≈15°

Крок розміщення зубів:

$$t = \frac{B}{n} \tag{3.19}$$

$$t = \frac{1{,}6}{40} = 0{,}04 \text{ м}$$

Контактний тиск на ґрунт:

$$p = \frac{F_{\text{гр}}}{B \cdot t} \tag{3.20}$$

$$p = \frac{1920}{1{,}6 \cdot 0{,}04} = 30000 \text{ Н/м}^2$$

Динаміка руху модуля

Для оцінки динамічних режимів роботи модуля визначаються середня швидкість руху, час проходження ділянки та кінетична енергія системи.

Середня швидкість руху з урахуванням розгону та гальмування визначається за формулою:

$$v_{\text{ср}} = \frac{v}{2} \tag{3.21}$$

де: v – максимальна швидкість руху, м/с.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$v_{\text{ср}} = \frac{0{,}3}{2} = 0{,}15 \text{ м/с}$$

Час проходження ділянки довжиною L:

$$t = \frac{L}{v} \tag{3.22}$$

де: L – довжина оброблюваної ділянки, м.

Наприклад, при L=100 м:

$$t = \frac{100}{0{,}3} = 333{,}3 \text{ с}$$

Кінетична енергія рухомої системи:

$$E_k = \frac{m \cdot v^2}{2} \tag{3.23}$$

де: m – маса модуля, кг.

При m=200 кг:

$$E_k = \frac{200 \cdot 0{,}3^2}{2} = 9 \text{ Дж}$$

Опір руху модуля

При русі модуля додатково виникає опір коченню опорних коліс, який визначається за формулою [25]:

$$F_к = f \cdot G \tag{3.24}$$

де: f – коефіцієнт опору коченню;

G – вага модуля, Н.

Підставляючи значення ($f = 0{,}03, G \approx 2000$ Н, отримуємо:

$$F_к = 0{,}03 \cdot 2000 = 60 \text{ Н}$$

Повний тяговий опір модуля:

$$F_{повн} = F + F_к$$

$$F_{повн} = 2304 + 60 = 2364 \text{ Н}$$

Перевірка розрахункових параметрів

Перевірка відповідності глибини обробітку агротехнічним вимогам:

$$h = 4 \text{ см} \in (3 \dots 5) \text{ см} \tag{3.26}$$

Вага модуля визначається за формулою:

$$G = m \cdot g \tag{3.27}$$

де: m – маса модуля, кг;

g=9,81 м/с^2

Оцінка напружень:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3.28}$$

де: А – площа поперечного перерізу елемента, м².

Коефіцієнт використання потужності:

$$\eta_{\text{вик}} = \frac{N}{N_{max}} = \frac{0{,}81}{3} = 0{,}27 \tag{3.29}$$

Коефіцієнт запасу потужності:

$$k_{\text{зап}} = \frac{N_{max}}{N} \tag{3.30}$$

$$k_{\text{зап}} = \frac{3}{0{,}81} = 3{,}7$$

Умова стійкого руху модуля:

$$F \leq \varphi \cdot G \tag{3.31}$$

де:φ – коефіцієнт зчеплення з ґрунтом.

Енергетична оцінка процесу

Питомі енерговитрати на виконання операції визначаються як:

$$E = \frac{N}{Q_{\text{год}}} \tag{3.32}$$

де: N – потужність приводу, кВт;

$Q_{\text{год}}$– продуктивність, га/год.

Підставляючи значення:

$$E = \frac{0{,}81}{0{,}173} = 4{,}68 \text{ кВт·год/га}$$

3.3. Обґрунтування вибору матеріалів і комплектуючих

Вибір матеріалів і комплектуючих для модуля вирівнювання ґрунту є важливим етапом проєктування, оскільки він визначає надійність, довговічність, масу конструкції та ефективність її роботи. При цьому необхідно враховувати умови експлуатації, характер навантажень, агресивність середовища, а також обмеження по енергоспоживанню, характерні для агромостової системи [27].

Основними критеріями вибору матеріалів є:

- достатня міцність і жорсткість;
- зносостійкість робочих поверхонь;
- корозійна стійкість;
- технологічність виготовлення;
- мінімальна маса конструкції.

Вибір матеріалу рами модуля

Рама є основним несучим елементом конструкції, який сприймає всі робочі навантаження. Для її виготовлення доцільно застосовувати конструкційну низьковуглецеву сталь, наприклад сталь S235 або Ст3.

Даний матеріал характеризується:

- достатньою межею текучості ($\sigma_т \approx 235$ МПа);
- хорошою зварюваністю;
- доступністю та невисокою вартістю.

Застосування профільних труб (прямокутного або квадратного перерізу) дозволяє забезпечити необхідну жорсткість при мінімальній масі, що є критично важливим для агромостової машини.

Вибір матеріалу робочих зубів

Робочі зуби працюють в умовах абразивного зношування та циклічних навантажень, тому до їх матеріалу висуваються підвищені вимоги.

Доцільно застосовувати:

- пружинну сталь 65Г або
- середньовуглецеву сталь Ст45 з термічною обробкою.

Основні властивості:

- висока пружність;
- підвищена зносостійкість;
- здатність витримувати змінні навантаження без руйнування.

Для підвищення ресурсу можливе застосування термічного зміцнення або наплавлення зносостійкого шару.

Вибір матеріалу рейкових грабель

Рейкові граблі виконують функцію перерозподілу ґрунту і працюють у менш навантажених умовах, ніж зуби. Для їх виготовлення доцільно використовувати конструкційну сталь:

- Ст3 або Ст20 – для основної рами грабель;
- Ст45 – для зубчастих елементів.

Це забезпечує достатню міцність при збереженні низької маси конструкції.

Вибір матеріалу опорних коліс

Опорні колеса забезпечують стабілізацію положення модуля та копіювання рельєфу поверхні. Вони повинні мати:

- металевий диск (сталь Ст3);
- гумове або поліуретанове покриття.

Застосування гумових шин дозволяє:

- зменшити опір коченню;
- знизити вібрації;
- запобігти пошкодженню поверхні ґрунту.

Вибір комплектуючих

До основних комплектуючих належать:

- підшипникові вузли – застосовуються стандартні радіальні підшипники (серії 204–206), які забезпечують надійну роботу при невеликих навантаженнях;
- кріпильні елементи – болти класу міцності 8.8, що забезпечують достатній запас міцності;
- регулювальні механізми – гвинтові або шарнірні з'єднання для зміни положення робочих органів.

Вибір стандартних комплектуючих дозволяє:

- зменшити вартість виготовлення;
- спростити ремонт і обслуговування;
- підвищити надійність конструкції.

Загальне обґрунтування вибору

Прийняті матеріали та комплектуючі забезпечують:

- відповідність розрахунковим навантаженням;
- достатній запас міцності;
- зменшення маси конструкції;
- ефективну роботу при обмеженій потужності приводу (до 3 кВт).

Вибір матеріалів і комплектуючих виконано з урахуванням умов експлуатації та конструктивних особливостей модуля. Запропоновані матеріали забезпечують необхідну міцність, зносостійкість і технологічність виготовлення при мінімальних витратах.

Таким чином, прийняті технічні рішення є обґрунтованими та забезпечують надійну роботу модуля в умовах мостового землеробства.

3.4. Розрахунок навантажень та міцності елементів конструкції

Метою даного розрахунку є визначення навантажень, що діють на основні елементи модуля вирівнювання ґрунту, а також перевірка їх міцності та працездатності при заданих умовах експлуатації. Розрахунок виконується для найбільш навантажених елементів: робочих зубів, рами модуля та кріпильних вузлів.

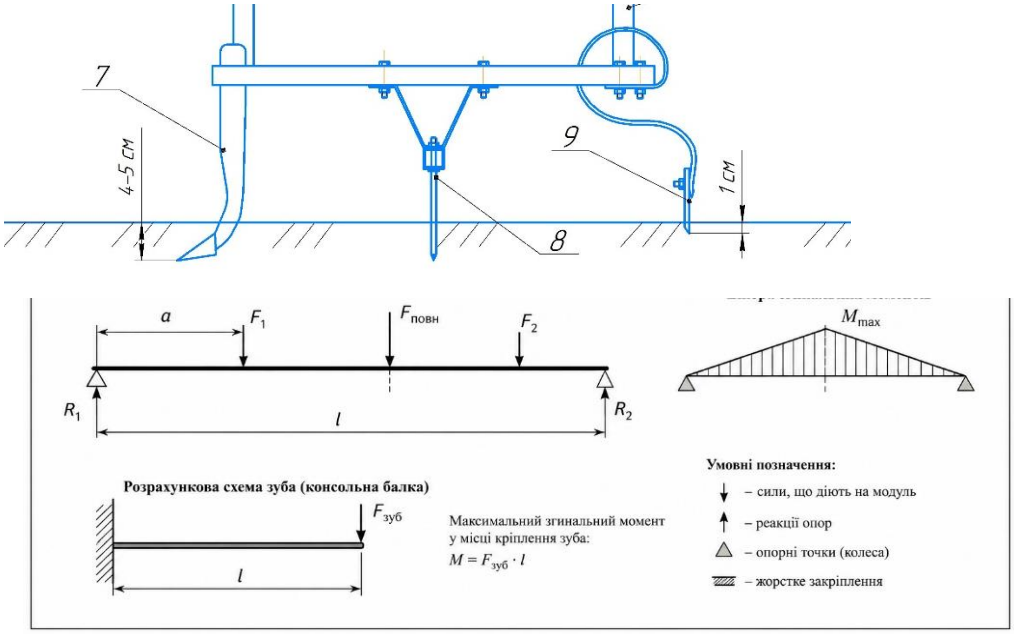


Рисунок 3.2 – Розрахункова схема модуля

Визначення навантажень на модуль

Загальне навантаження на модуль визначається як сума сил опору ґрунту та власної ваги:

$$F_{повн} = F + F_к \tag{3.33}$$

де: F – тяговий опір (2304 Н);

$F_к$ – опір коченню (60 Н).

$$F_{повн} = 2304 + 60 = 2364 \text{ Н}$$

Розрахунок навантаження на один зуб

Сила, що діє на один зуб:

$$F_{\text{зуб}} = \frac{F_1}{n} \tag{3.34}$$

$$F_{\text{зуб}} = \frac{1920}{40} = 48\ \text{Н}$$

Розрахунок згинального моменту зуба

Згинальний момент:

$$M = F_{\text{зуб}} \cdot l \tag{3.35}$$

де: l=0,1 м – довжина зуба.

$$M = 48 \cdot 0{,}1 = 4{,}8\ \text{Н·м}$$

Розрахунок напруження згину

Напруження згину:

$$\sigma = \frac{M}{W} \tag{3.36}$$

Момент опору прямокутного перерізу:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} \tag{3.37}$$

де: $b = 0{,}01$ м, $h = 0{,}02$м.

$$W = \frac{0{,}01 \cdot (0{,}02)^2}{6} = 6{,}67 \cdot 10^{-7}\ \text{м}^3$$

Тоді:

$$\sigma = \frac{4{,}8}{6{,}67 \cdot 10^{-7}} \approx 7{,}2\ \text{МПа}$$

Перевірка міцності зуба

Допустиме напруження для сталі (Ст45): $\sigma_{\text{доп}} \approx 100$ МПа

Умова міцності:

$$\sigma \leq \sigma\text{доп},\ 7{,}2 \ll 100 \tag{3.38}$$

Отже, запас міцності значний.

Розрахунок рами модуля

Навантаження на раму:

$$F_{\text{рама}} = F_{\text{повн}} = 2364 \text{ Нм} \tag{3.39}$$

Напруження:

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3.40}$$

де: А=0,0005 м^2

$$\sigma = \frac{2364}{0{,}0005} = 4{,}73 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт запасу міцності

$$n_{\text{зап}} = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma} \tag{3.41}$$

$$n_{\text{зап}} = \frac{100}{7{,}2} \approx 14$$

Проведені розрахунки показали, що всі елементи конструкції працюють у межах допустимих напружень. Найбільш навантаженими є робочі зуби, однак навіть для них коефіцієнт запасу міцності перевищує 14, що свідчить про надійність конструкції за різних ситуацій наприклад випадкових ударних навантажень при зустрічі з камінням чи іншими предметами.

Рама модуля також працює з великим запасом міцності, що забезпечує її довговічність та стійкість до експлуатаційних навантажень.

Таким чином, запропонована конструкція модуля є міцною, надійною та придатною для використання в умовах мостового землеробства.

3.5. Інтеграція модуля в мехатронну систему агромоста

Метою інтеграції є забезпечення узгодженої роботи модуля вирівнювання ґрунту з кареткою агромоста, системами приводу, живлення та керування, що дозволяє підтримувати задані агротехнічні параметри (глибину обробітку, швидкість руху, стабільність положення робочих органів) при мінімальних енерговитратах.

Інтеграція виконується за трьома рівнями: механічним, енергетичним та інформаційно-керуючим [28-29].

Механічна інтеграція

Модуль встановлюється на каретці агромоста через уніфікований вузол агрегатування, який забезпечує:

- швидке приєднання/від'єднання;
- жорстку фіксацію в робочому положенні;
- можливість регулювання висоти та кута атаки грабель.

Опорні колеса модуля виконують функцію копіювання мікрорельєфу, що дозволяє стабілізувати глибину обробітку незалежно від коливань каретки. Геометричні параметри вузла агрегатування підбираються так, щоб центр мас модуля знаходився в межах опорного контуру, що зменшує коливання та навантаження на ферму агромоста.

Умова статичної стійкості:

$$x_{\text{цм}} \in [x_{R1},\, x_{R2}] \tag{3.42}$$

де $x_{\text{цм}}$ – координата центра мас модуля; x_{R1},x_{R2} – координати опор.

Енергетична інтеграція

Живлення електроприводів каретки та допоміжних виконавчих механізмів здійснюється від акумуляторної батареї з підзарядкою від сонячних панелей, розміщених на фермі агромоста.

Баланс потужності системи:

$$P_{\Sigma} = P_{\text{кар}} + P_{\text{вик}} \leq P_{max} \tag{3.43}$$

де: $P_{кар}$ – потужність приводу переміщення каретки;

Рвик – сумарна потужність виконавчих механізмів (актуатори регулювання);

P_{max} =3 кВт – гранична потужність.

Для забезпечення заданого часу роботи використовується енергетичний розрахунок:

$$W = P_{\Sigma} \cdot t \tag{3.44}$$

де W – спожита енергія, кВт·год;

t – тривалість роботи, год.

Ємність акумулятора:

$$C = \frac{W}{U} \tag{3.45}$$

де U – робоча напруга системи, В.

Коефіцієнт використання потужності (контроль завантаження приводу):

$$\eta_{вик} = \frac{P_{\Sigma}}{P_{max}} \leq 1 \tag{3.46}$$

Система керування

Керування модулем реалізується на базі мікроконтролера (ESP-WROOM-32 або Arduino), який забезпечує:

- регулювання швидкості руху каретки (через частотний перетворювач/ШІМ-драйвер);
- керування виконавчими механізмами (електроприводи регулювання глибини та кута атаки);
- обробку сигналів від датчиків;
- обмін даними з центральним контролером агромоста.

Блок-схема керування (рис. 3.3) включає: **датчики → контролер → виконавчі механізми → об’єкт керування**.



Рисунок 3.3 – Блок-схема керування модулем вирівнювання грунту

Для забезпечення стабільної роботи використовуються такі датчики:

- датчики положення (енкодери) – для контролю переміщення каретки;
- датчики висоти/положення – для підтримання глибини обробітку;
- датчики струму – для контролю навантаження приводу;
- інерціальні датчики (IMU) – для фільтрації коливань.

Регулювання глибини обробітку реалізується за відхиленням:

$$\Delta h = h_{\text{зад}} - h_{\text{факт}} \tag{3.47}$$

де $h_{зад}$ – виміряна.

Закон керування (пропорційний регулятор):

$$u = K_p \cdot \Delta h \tag{3.48}$$

де u – керуючий сигнал на виконавчий механізм;

K_p – коефіцієнт підсилення.

Для швидкості каретки:

$$\Delta v = v_{\text{зад}} - v_{\text{факт}} \tag{3.49}$$

$$u_v = K_v \cdot \Delta v \tag{3.50}$$

Інформаційна взаємодія

Обмін даними між модулем та центральною системою агромоста може здійснюватися через шину (наприклад, CAN) або бездротові протоколи (Wi-Fi/Bluetooth) для:

- передачі телеметрії (швидкість, струм, положення);
- отримання команд (режими роботи, швидкість, глибина);
- журналювання даних.

Частота дискретизації сигналів становить $f_s \geq 10$ Гц що забезпечує достатню швидкодію системи.

Узгодження режимів роботи

Для мінімізації енерговитрат і підвищення якості обробітку необхідне узгодження швидкості руху та глибини:

$$N = \frac{F \cdot v}{\eta} \leq P_{max} \tag{3.51}$$

де F – сумарний опір ґрунту (визначений у п.3.2).

При зростанні опору система автоматично зменшує швидкість:

$$v_{\text{нов}} = \frac{P_{max} \cdot \eta}{F} \tag{3.52}$$

Запропонована схема інтеграції забезпечує сумісність модуля з мехатронною системою агромоста на механічному, енергетичному та інформаційному рівнях. Використання датчиків і зворотного зв’язку дозволяє підтримувати стабільні агротехнічні параметри, а узгодження режимів роботи – ефективно використовувати обмежену потужність приводу. Це забезпечує надійну та енергоефективну роботу модуля в умовах мостового землеробства. Основні складові модуля та агромоста задіяні в роботі наведено в додатку Г

3.6. Висновки

У розділі виконано конструктивне та розрахункове обґрунтування модуля вирівнювання ґрунту для роботи в складі агромостової машини. З урахуванням обмеження потужності приводу (до 3 кВт) обрано спрощену конструктивну схему, що включає розпушувальні зуби та рейкові граблі, яка забезпечує ефективне вирівнювання при мінімальному тяговому опорі.

Проведені розрахунки показали, що при ширині захвату 1,6 м, глибині обробітку 4 см і швидкості руху 0,3 м/с модуль забезпечує продуктивність 0,173 га/год. Визначено, що необхідна потужність приводу становить близько 0,81 кВт, що значно менше допустимого значення, а запас потужності перевищує трикратний рівень.

Розрахунок навантажень і міцності підтвердив, що всі елементи конструкції працюють у межах допустимих напружень, маючи достатній запас міцності. Обґрунтовано вибір матеріалів і комплектуючих, які забезпечують надійність, зносостійкість та технологічність виготовлення.

Запропонована схема інтеграції в мехатронну систему агромоста забезпечує узгоджену роботу модуля, стабілізацію режимів і ефективне використання енергії. Таким чином, розроблений модуль є технічно обґрунтованим, енергоефективним і придатним для використання в умовах мостового землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі обладнання

Експлуатація агромостової машини з модулем вирівнювання ґрунту супроводжується впливом на персонал і довкілля ряду небезпечних і шкідливих факторів [30, 31]. Їх своєчасне виявлення та оцінка є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів безпеки і забезпечення надійної роботи обладнання.

До основних небезпечних факторів належать механічні впливи, що виникають у процесі руху каретки агромоста та роботи робочих органів. Переміщення конструкції по напрямних супроводжується наявністю рухомих частин, які можуть становити небезпеку травмування при випадковому контакті. Особливо це стосується зони роботи розпушувальних зубів і рейкових грабель, де існує ризик захоплення одягу або кінцівок.

Суттєвим фактором є дія динамічних навантажень і вібрацій, що передаються від рухомих елементів на конструкцію та оператора. Тривалий вплив вібрації може призводити до зниження точності роботи системи, підвищеного зносу вузлів і погіршення умов праці.

Під час роботи обладнання виникає шум, джерелами якого є електроприводи, передавальні механізми та контакт робочих органів із ґрунтом. Підвищений рівень шуму негативно впливає на працездатність оператора та може викликати втому або погіршення слуху при тривалому впливі.

Електричні фактори пов’язані з використанням електроприводу, акумуляторних батарей і систем керування. Існує ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або неправильного підключення

обладнання. Особливу увагу необхідно приділяти умовам роботи в польовому середовищі, де можливий вплив вологи та пилу на електричні компоненти.

До шкідливих факторів належать пил та дрібнодисперсні частинки ґрунту, що утворюються під час обробітку. Вони можуть негативно впливати на органи дихання оператора, а також сприяти зносу механічних і електронних компонентів системи.

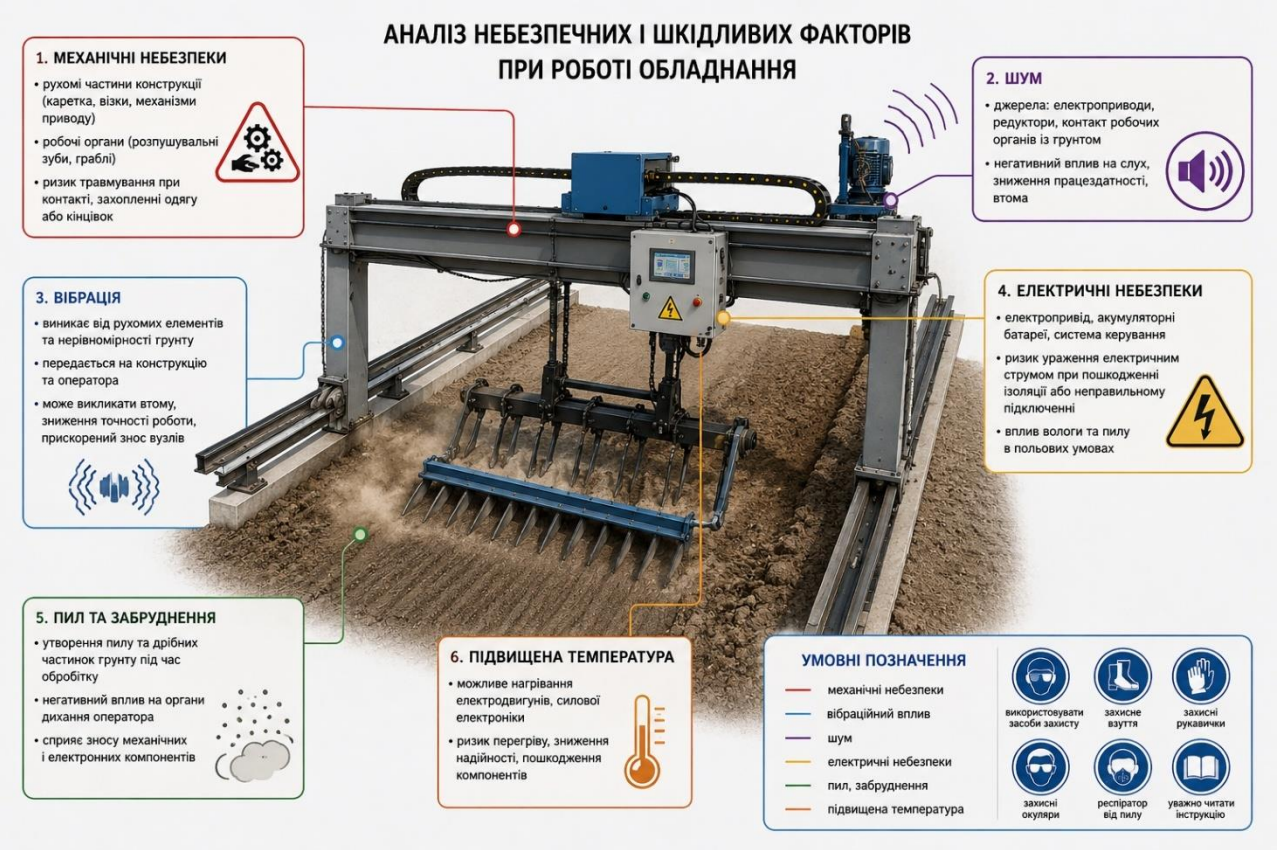


Рисунок 4.1 – Небезпечні фактори в мостовій технології

Крім того, під час експлуатації обладнання можливе утворення локальних зон підвищеної температури в елементах електроприводу та силової електроніки, що при несправностях може призвести до перегріву або пошкодження компонентів.

Таким чином, аналіз показує, що при роботі модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини наявні механічні, електричні, вібраційні, шумові

та пилові фактори впливу. Їх урахування є необхідним для подальшої розробки заходів з охорони праці та забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

4.2. Вимоги безпеки при експлуатації модуля вирівнювання ґрунту

Безпечна експлуатація модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини забезпечується дотриманням комплексу організаційних, технічних та експлуатаційних вимог [32]. Враховуючи наявність рухомих механізмів, електричних систем та роботу в польових умовах, особлива увага приділяється запобіганню травматизму, ураженню електричним струмом та впливу шкідливих факторів.

Перед початком роботи необхідно провести зовнішній огляд обладнання. Перевіряється справність рами, кріпильних елементів, робочих органів (зубів і грабель), а також відсутність механічних пошкоджень і люфтів. Окремо контролюється стан електропроводки, надійність ізоляції, правильність підключення акумуляторної батареї та працездатність системи керування.

Пуск обладнання дозволяється лише після перевірки відсутності сторонніх предметів у зоні роботи модуля та переконання, що всі захисні елементи встановлені та зафіксовані. Оператор повинен знаходитися на безпечній відстані від рухомих частин і мати можливість швидкого доступу до органів аварійного вимкнення.

У процесі роботи забороняється перебування людей у зоні дії робочих органів. Не допускається виконання будь-яких регулювальних або ремонтних операцій при ввімкненому приводі. У разі появи сторонніх шумів, вібрацій або перегріву обладнання необхідно негайно зупинити систему та провести діагностику.

Експлуатація електричної частини повинна здійснюватися з дотриманням правил електробезпеки. Забороняється робота з пошкодженою ізоляцією,

відкритими струмоведучими частинами або у вологих умовах без відповідного захисту. Усі металеві частини обладнання мають бути надійно заземлені, а живлення – обладнане захисними елементами (запобіжниками, автоматичними вимикачами).

З метою зменшення впливу пилу та шуму оператор повинен використовувати засоби індивідуального захисту: захисні окуляри, рукавички, респіратор та при необхідності засоби захисту слуху. Робоче місце повинно бути організоване таким чином, щоб забезпечити зручність керування та контроль за процесом.

Після завершення роботи необхідно відключити живлення, очистити робочі органи від залишків ґрунту, перевірити стан вузлів і при необхідності провести технічне обслуговування. Зберігання обладнання повинно здійснюватися у сухому місці з метою запобігання корозії та пошкодженню електронних компонентів.

Таким чином, дотримання наведених вимог безпеки дозволяє мінімізувати ризики травмування персоналу, підвищити надійність роботи обладнання та забезпечити ефективну експлуатацію модуля вирівнювання ґрунту в умовах мостового землеробства.

4.3. Заходи щодо підвищення безпеки праці

Підвищення рівня безпеки праці при експлуатації модуля вирівнювання ґрунту досягається шляхом впровадження комплексу технічних, організаційних та інженерних заходів, спрямованих на зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів, виявлених у попередньому підрозділі.

Одним із основних напрямів є удосконалення конструкції обладнання. Рухомі елементи модуля, зокрема приводи, передавальні механізми та робочі органи, повинні бути оснащені захисними кожухами або екранами, що

виключають можливість випадкового контакту з ними. Конструкція вузлів агрегатування має забезпечувати надійну фіксацію модуля та запобігати його самовільному зміщенню під час роботи.

Важливим заходом є підвищення рівня електробезпеки. Для цього передбачається застосування ізольованих кабельних з’єднань, герметичних роз’ємів та захисних пристроїв, таких як автоматичні вимикачі та запобіжники. Доцільним є використання систем контролю струму та напруги, які дозволяють своєчасно виявляти перевантаження та аварійні режими роботи.

З метою зменшення вібраційного впливу доцільно використовувати демпфуючі елементи в конструкції кріплення модуля та робочих органів. Це сприяє не лише покращенню умов праці оператора, але й зменшенню зносу деталей і підвищенню точності виконання технологічного процесу.

Зниження рівня шуму досягається шляхом застосування сучасних електроприводів з плавним регулюванням швидкості, а також використання матеріалів і конструктивних рішень, що поглинають або зменшують звукові коливання.

Для обмеження впливу пилу доцільно передбачити використання захисних екранів або локальних засобів пилоподавлення, а також регулярне очищення робочих органів і вузлів машини. Це дозволяє покращити умови праці та продовжити термін служби обладнання.

Організаційні заходи включають проведення інструктажів з охорони праці, навчання персоналу правилам безпечної експлуатації та періодичний контроль знань. Важливим є також забезпечення операторів засобами індивідуального захисту відповідно до умов роботи.

Додатково доцільно впровадити систему моніторингу технічного стану обладнання, яка дозволяє відстежувати основні параметри роботи в реальному часі та попереджати виникнення аварійних ситуацій. Використання елементів

автоматизації та дистанційного керування дає змогу зменшити безпосередню участь людини у небезпечних зонах.

Таким чином, реалізація запропонованих заходів сприяє підвищенню рівня безпеки праці, зниженню ризику травматизму та забезпеченню стабільної і надійної роботи модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини.

4.4. Оцінка впливу на навколишнє середовище

Експлуатація модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини характеризується відносно низьким рівнем негативного впливу на навколишнє середовище порівняно з традиційними технологіями, що базуються на використанні колісної або гусеничної техніки. Це зумовлено особливістю мостової системи, яка мінімізує контакт техніки з оброблюваною поверхнею.

Одним із ключових екологічних аспектів є вплив на ґрунтовий покрив. Використання агромоста дозволяє практично повністю усунути ущільнення ґрунту рушіями техніки, що сприяє збереженню його структури, пористості та водопроникності. Це, у свою чергу, позитивно впливає на розвиток кореневої системи рослин і підвищує ефективність використання вологи та поживних речовин.

Під час роботи модуля відбувається механічний вплив на верхній шар ґрунту, який супроводжується утворенням пилу. Однак цей вплив має локальний характер і не призводить до значного забруднення атмосфери, особливо за умови дотримання оптимальної вологості ґрунту та правильного режиму роботи. Крім того, відсутність інтенсивного перемішування ґрунту сприяє зменшенню втрат органічної речовини.

Важливим фактором є відсутність прямих викидів шкідливих речовин у атмосферу, оскільки агромостова машина використовує електропривід. Це

дозволяє знизити рівень забруднення повітря порівняно з дизельною технікою та зменшити викиди парникових газів.

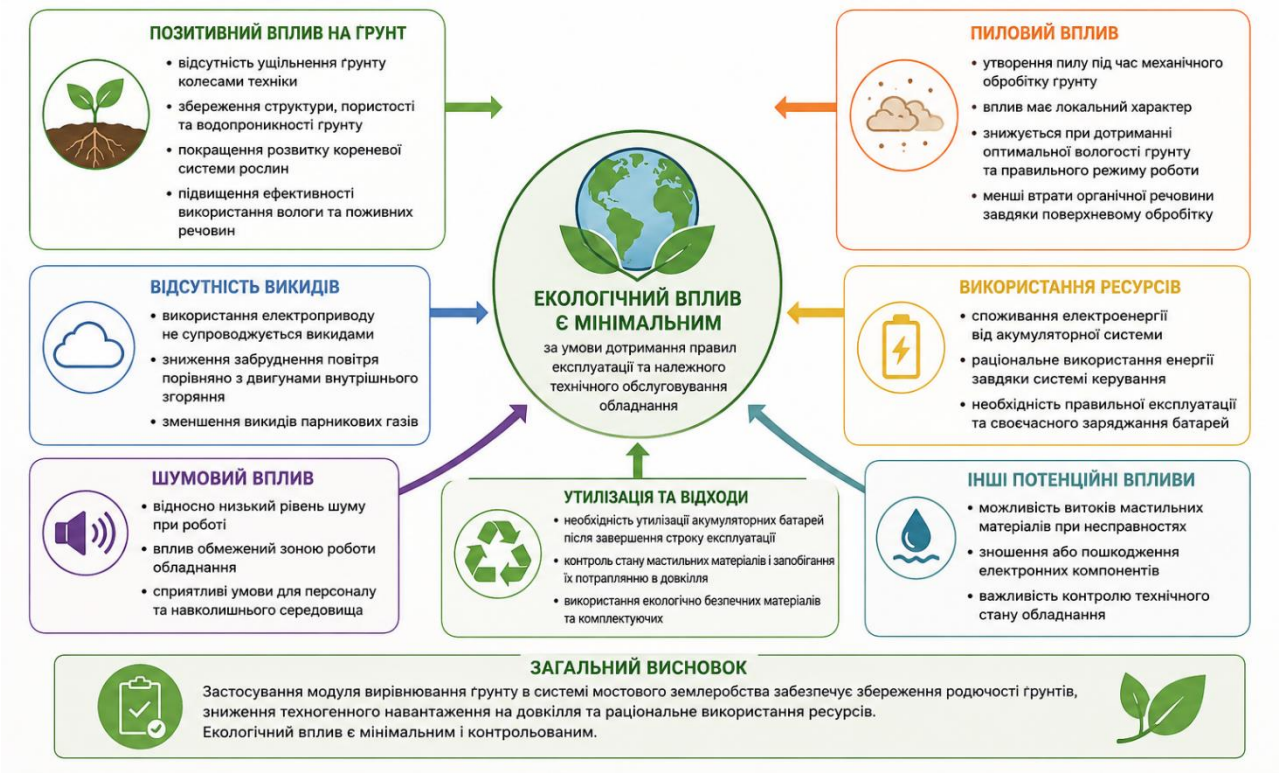


Рисунок 4.2 – Оцінка екологічного впливу мостової технології

Рівень шумового впливу при роботі обладнання є відносно невисоким і обмежується зоною безпосередньої роботи машини. Це зменшує негативний вплив на навколишнє середовище та сприяє покращенню умов праці.

Разом з тим необхідно враховувати можливий вплив на навколишнє середовище від використання акумуляторних батарей, зокрема питання їх утилізації після завершення терміну експлуатації. Також важливим є контроль технічного стану обладнання для запобігання витокам мастильних матеріалів або пошкодженню електричних компонентів.

Таким чином, застосування модуля вирівнювання ґрунту в системі мостового землеробства забезпечує зниження техногенного навантаження на навколишнє середовище, збереження родючості ґрунтів та зменшення рівня

забруднення. За умови дотримання правил експлуатації та належного технічного обслуговування екологічний вплив даної технології є мінімальним.

4.5. Висновки

У розділі проведено аналіз умов безпечної експлуатації модуля вирівнювання ґрунту та оцінено його вплив на навколишнє середовище. Встановлено, що під час роботи обладнання наявні механічні, електричні, шумові, вібраційні та пилові фактори, які можуть впливати на безпеку праці та стан довкілля.

Сформульовано основні вимоги безпеки при експлуатації модуля, які передбачають контроль технічного стану обладнання, дотримання правил роботи з електричними системами, а також обмеження доступу до рухомих елементів під час роботи. Визначено необхідність використання засобів індивідуального захисту та проведення регулярного інструктажу персоналу.

Запропоновано комплекс заходів щодо підвищення безпеки праці, що включає удосконалення конструкції, впровадження захисних елементів, підвищення рівня автоматизації та застосування систем контролю технічного стану. Реалізація цих заходів дозволяє знизити ризик травматизму та підвищити надійність роботи обладнання.

Оцінка впливу на навколишнє середовище показала, що застосування модуля в системі мостового землеробства має переважно позитивний характер. Зокрема, забезпечується зменшення ущільнення ґрунту, відсутність прямих викидів шкідливих речовин та зниження рівня техногенного навантаження. Негативні фактори, такі як пил, шум та використання енергетичних ресурсів, мають локальний і контрольований характер.

Таким чином, запропонована технологія є безпечною за умови дотримання встановлених вимог експлуатації та забезпечує мінімальний вплив на довкілля, що підтверджує доцільність її використання в сучасних системах точного землеробства.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення

Економічна оцінка проєкту розробленого модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини спрямована на визначення доцільності його впровадження у виробничих умовах сучасного сільськогосподарського підприємства [33]. Проведення такого аналізу дозволяє комплексно оцінити не лише прямі витрати на виконання технологічної операції, але й врахувати вплив нової техніки на ефективність використання ресурсів, рівень механізації виробництва та кінцеві результати господарської діяльності. Особливістю запропонованого технічного рішення є поєднання енергоефективності, зменшення техногенного впливу на ґрунт та підвищення якості виконання агротехнічних операцій. Це обумовлює необхідність проведення економічної оцінки з урахуванням як прямих, так і непрямих ефектів, зокрема зниження витрат на паливо або електроенергію, скорочення експлуатаційних витрат, підвищення врожайності та збереження родючості ґрунтів. Основними критеріями ефективності проєкту приймаються: рівень експлуатаційних витрат на одиницю площі, собівартість виконання технологічної операції, величина річного економічного ефекту, а також термін окупності капітальних вкладень. Додатково враховується агрономічний ефект, який проявляється у вигляді підвищення врожайності за рахунок покращення структури ґрунту та зменшення його ущільнення.

З метою об’єктивної оцінки доцільності впровадження розробленого модуля проводиться порівняння двох альтернативних технологічних варіантів виконання операції вирівнювання ґрунту [33]:

- традиційної тракторної технології, яка передбачає використання колісних машин і характеризується значними витратами пального та впливом на ґрунт;

- мостової технології з використанням розробленого модуля, яка базується на мінімізації контакту техніки з поверхнею поля та застосуванні енергоефективних електроприводів.

Таке порівняння дозволяє визначити переваги та недоліки кожного варіанту, встановити економічний ефект від впровадження нової технології та обґрунтувати її практичну доцільність у виробничих умовах.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку

Показник	**Позначення**	**Значення**
Площа обробітку	*S*	25 га
Продуктивність	*W*	0,173 га/год
Витрати електроенергії	*E*	4,68 кВт·год/га
Вартість електроенергії	*Ce*	6 грн/кВт·год
Витрати дизеля	*qd*	5 л/га
Вартість дизеля	*Cd*	88 грн/л
Вартість модуля	*K*	18 425 грн
Строк служби	*T*	5 років
Зарплата	*Сзп*	700 грн/день

5.2. Розрахунок експлуатаційних витрат

Витрати електроенергії [33]:

$$Сел = E \cdot Ce = 4{,}68 \cdot 6 = 28{,}08 \text{грн/га} \quad (5.1)$$

Витрати дизельного пального:

$$Сдиз=qd\cdot Cd \quad (5.2)$$

$$Сдиз =5\cdot 88=440 \text{ грн/га}$$

Річні витрати:

$$Селрік=28,08\cdot 25=702 \text{ грн}$$

$$Сдизрік=440\cdot 25=11000 \text{грн}$$

Амортизаційні відрахування визначаються з метою врахування поступового зносу обладнання в процесі його експлуатації та рівномірного перенесення вартості модуля на виконувані роботи.

Річна сума амортизаційних відрахувань визначається за формулою:

$$A = \frac{K}{T} \quad (5.3)$$

де: К – вартість модуля, грн;

Т – строк служби, років.

$$A = \frac{18425}{5} = 3685 \text{ грн}$$

Витрати на ремонт і технічне обслуговування враховують витрати на підтримання працездатності модуля в процесі експлуатації, включаючи заміну зношених деталей, мастильні матеріали та виконання регламентних робіт.

Річні витрати на ремонт визначаються як частка від вартості обладнання:

$$Срем=0,1\cdot К=1842 \text{ грн} \quad (5.4)$$

Витрати на оплату праці визначаються на основі тривалості виконання технологічної операції та встановленої денної тарифної ставки працівника.

Час, необхідний для обробітку заданої площі, визначається за формулою:

$$t_{\text{днів}} = \frac{S}{W} = \frac{25}{0{,}173} = 144{,}5 \text{ год} \quad (5.4)$$

Де S – площа обробітку, га;

W – продуктивність агрегату, га/год.

Річні витрати на оплату праці визначаються як:

$$C_{\text{зп}} = t_{\text{днів}} \cdot C_{\text{дн}} \quad (5.5)$$

де: $C_{\text{дн}}$ – денна заробітна плата працівника, грн.

$$Cзп = 18 \cdot 700 = 12600 \text{грн}$$

Результати порівняльних розрахунків наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Загальні витрати

Стаття	Агроміст, грн	Трактор, грн
Енергія	702	11000
Зарплата	12600	11200
Амортизація	3685	3685
Ремонт	1842	1842
Інші	921	921
Разом	19750	28648

5.3. Собівартість обробітку

Собівартість виконання технологічної операції визначається як відношення загальних експлуатаційних витрат до площі обробітку. Даний показник характеризує витрати на обробіток одного гектара та є основним критерієм економічної ефективності технології.

Розрахунок собівартості виконується за формулою:

$$C_{1га} = \frac{C_{експ}}{S} \quad (5.6)$$

Де $C_{експ}$ – річні експлуатаційні витрати, грн;

S – площа обробітку, га.

Для агромостової технології:

$$C_{1га}^{агр} = \frac{19750}{25} = 790 \text{ грн/га}$$

Для тракторної технології:

$$C_{1га}^{тр} = \frac{28648}{25} = 1146 \text{ грн/га}$$

Отримані результати свідчать, що собівартість обробітку ґрунту при використанні агромостової технології є суттєво нижчою порівняно з традиційною тракторною.

Зниження витрат становить:

$$\Delta C = C_{1га}^{тр} - C_{1га}^{агр} = 1146 - 790 = 356 \text{ грн/га} \quad (5.7)$$

Річний економічний ефект склав:

$$E_{річ} = \Delta C \cdot S = 356 \cdot 25 = 8900 \text{ грн} \quad (5.8)$$

Додатковий прибуток від урожайності

Застосування мостової технології землеробства дозволяє покращити агрофізичні властивості ґрунту, що сприяє підвищенню врожайності сільськогосподарських культур. Приймаємо приріст урожайності на рівні 2%.

Додатковий урожай визначається за формулою:

$$Y_{\text{дод}} = Y \cdot \Delta Y \tag{5.9}$$

Де Y – базова урожайність, т/га;

ΔY – відносний приріст урожайності.

$$Y_{\text{дод}} = 5 \cdot 0{,}02 = 0{,}1\ \text{т/га}$$

Додатковий дохід з одного гектара визначається як:

$$D_{1\text{га}} = Y_{\text{дод}} C \tag{5.10}$$

Де C – ціна продукції, грн/т.

$$D_{1\text{га}} = 0{,}1 \cdot 6000 = 600\ \text{грн/га}$$

Річний додатковий дохід визначається за формулою:

$$D_{\text{річ}} = D_{1\text{га}} \cdot S \tag{5.11}$$

де: S – площа обробітку, га.

$$D_{\text{річ}} = 600 \cdot 25 = 15\,000\ \text{грн}$$

Таким чином, за рахунок підвищення врожайності на 2% додатковий річний дохід становить 15 000 грн, що є суттєвим фактором підвищення економічної ефективності впровадження розробленого модуля вирівнювання ґрунту.

5.4. Загальний економічний ефект

Загальний економічний ефект визначається як сума ефекту від зниження експлуатаційних витрат та додаткового доходу від підвищення врожайності:

$$E_{\text{заг}} = E_{\text{річ}} + D_{\text{річ}}$$

де: $E_{\text{річ}}$ – економія витрат, грн;

$D_{\text{річ}}$ – додатковий дохід від приросту врожайності, грн.

Підставляючи значення, отримуємо:

$$E_{\text{заг}} = 8900 + 15000 = 23\,900 \text{ грн}$$

Термін окупності

Термін окупності визначає період, протягом якого капітальні вкладення повертаються за рахунок отриманого економічного ефекту.

Розрахунок виконується за формулою:

$$T = \frac{K}{E_{\text{заг}}}$$

де K – капітальні витрати, грн;

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

Підставляючи значення, отримуємо:

$$T = \frac{18425}{23900} \approx 0{,}77 \text{ року}$$

Для забезпечення наочності та об’єктивності оцінки ефективності двох технологій результати розрахунків систематизовано та представлено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Економічна оцінка технологій вирівнювання ґрунту

№	Показник	Одиниця	Агромостова технологія	Тракторна технологія	Відхилення
1	Площа обробітку	га	25	25	–
2	Продуктивність	га/год	0,173	0,2	+0,027
3	Витрати енергії	кВт·год/га /(л/га)	4,68	(5)	–
4	Вартість енергії	грн/га	28,08	440	–411,92
5	Річні витрати на енергію	грн	702	11 000	–10 298
6	Витрати на оплату праці	грн	12 600	11 200	+1 400
7	Амортизація	грн	3 685	3 685	0
8	Ремонт	грн	1 842	1 842	0
9	Інші витрати	грн	921	921	0
10	Загальні витрати	грн	19 750	28 648	–8 898
11	Собівартість 1 га	грн/га	790	1 146	–356
12	Економія на 1 га	грн/га	356	–	–
13	Річний економічний ефект	грн	8 900		
14	Додатковий дохід (урожайність)	грн	15 000		
15	Загальний ефект	грн	23 900		
16	Термін окупності	років	0,77		

5.5. Висновки

Проведені розрахунки показали, що застосування модуля вирівнювання ґрунту в складі агромостової машини є економічно доцільним. Собівартість обробітку зменшується приблизно на 30–35% порівняно з традиційною технологією.

Основний економічний ефект формується за рахунок зниження витрат на енергоносії, а також додаткового прибутку від підвищення врожайності. Загальний річний ефект становить близько 23,9 тис. грн.

Термін окупності становить менше одного року, що свідчить про високу ефективність і перспективність впровадження розробленого модуля у виробничих умовах.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню технології мостового землеробства шляхом розробки модуля для вирівнювання поверхні ґрунту. Актуальність теми обумовлена необхідністю зниження енерговитрат, підвищення ефективності використання ґрунтів та впровадження сучасних ресурсозберігаючих технологій.

Метою роботи було обґрунтування конструкції та розробка модуля вирівнювання ґрунту для агромостової машини, а також оцінка його технічної та економічної ефективності.

Проведений аналіз виробничих умов показав, що рівень механізації окремих технологічних операцій становить 60–100%, при цьому витрати дизельного пального досягають 5 л/га, що зумовлює необхідність впровадження більш енергоефективних рішень.

Обґрунтовано агротехнічні параметри процесу вирівнювання ґрунту, зокрема глибину обробітку в межах 3–5 см та раціональні режими роботи обладнання. Встановлено, що існуючі технічні засоби забезпечують продуктивність до 0,2 га/год, але супроводжуються значними витратами енергії та негативним впливом на ґрунт.

Розроблено конструкцію модуля вирівнювання ґрунту з шириною захвату 1,6 м та швидкістю руху 0,3 м/с, що забезпечує продуктивність 0,173 га/год. Визначено, що сумарний тяговий опір становить 2364 Н, а необхідна потужність приводу – 0,81 кВт, що відповідає умовам роботи агромостової системи. Проведені розрахунки підтвердили достатній запас міцності елементів конструкції.

Встановлено основні небезпечні та шкідливі фактори, пов’язані з експлуатацією обладнання, та запропоновано заходи щодо їх зниження. Оцінка впливу на навколишнє середовище показала, що застосування мостової технології дозволяє зменшити ущільнення ґрунту, знизити енергоспоживання та мінімізувати техногенне навантаження.

Економічні розрахунки показали, що собівартість обробітку становить 790 грн/га, що на 30–35% менше порівняно з традиційною технологією (1146 грн/га). Річна економія складає 8900 грн, а з урахуванням приросту врожайності на 2% (15 000 грн) загальний економічний ефект досягає 23 900 грн. Термін окупності проєкту становить 0,77 року.

Таким чином, розроблений модуль вирівнювання ґрунту є технічно обґрунтованим, енергоефективним та економічно доцільним. Його впровадження дозволяє підвищити ефективність сільськогосподарського виробництва та рекомендується до практичного застосування в умовах сучасного землеробства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смаглій О. Ф., Дереча О. А., Рябчук П. О. та ін. Технології та технологічні проекти вирощування основних сільськогосподарських культур: навчальний посібник. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. – 292 с.

2. Мостове землеробство. Елементи теорії та результати досліджень : монографія / Кобець А. С., Теслюк Г. В., Пугач А. М., Сокол С. П., Надикто В. Т., Улексін В. О., Бойко В. Б., Золотовська О. В., Теслюк Ю. В. – Дніпро : Акцент, 2023. – 367 с.

3. Барабаш О. Ю. Овочівництво: Підручник.- К.: Вища шк., 1994 – 374 с.: іл.

4. Звітна інформація ТД «Agro Demetra» за 2023-2025 рік.

5. Зінченко О.І. та ін. Рослинництво: Підручник / О.І Зінченко. В. Н. Салатенко,М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.: іл.

6. Влох.В.Г. Рослинництво. В.Г.Влох, С.В. Дубровицький, Г.С. Кияк, Д.М. Онищук. – К: Вища школа. 2005. – 382 с.

7. Сисолін П. В. Землеробство : підручник. Київ : Урожай, 2008. 368 с.

8. Погорілий Л. В., Кравчук В. І. Сільськогосподарські машини : підручник. Київ : Урожай, 2004. 448 с.

9. Погорілий Л. В., Кравчук В. І., Волянський М. С. Машини для обробітку ґрунту : підручник. Київ : Фенікс, 2007. 432 с.

10. Hunt D. Farm Power and Machinery Management. 10th ed. Ames : Iowa State University Press, 2001. 368 p.

11. ASABE Standards EP291. Soil Tillage Terminology. St. Joseph : ASABE, 2018.

12. FAO. Soil Tillage in Agriculture. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2017.

13. LEMKEN – Agricultural Machinery and Soil Cultivation Technology : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

14. AMAZONE – Agricultural Machinery for Soil Tillage and Seeding : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

15. KUHN Group – Agricultural Machinery Solutions : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

16. HORSCH – Modern Soil Cultivation and Seeding Technology : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

17. John Deere – Agricultural Equipment and Precision Farming : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

18. CLAAS – Agricultural Machinery and Harvesting Technology : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.19.

19. Trimble Agriculture – Landforming and Water Management : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.

20. Topcon Agriculture – Precision Agriculture Technology Solutions : офіційний сайт. Дата звернення: 20.05.2026.21.

21. Blackmore S. Precision Farming. Wageningen : Wageningen University, 2014.

22. FAO. Conservation Agriculture. Rome : Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2018.

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. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: Підручник. – К.: Знання, 2016. –. 400 с.

27. Деталі машин : підручник / [А. В. Міняйло, Л. М. Тіщенко, Д. І. Мазоренко, В. І. Дирда та ін.]. – К. : Агроосвіта, 2013. – 448 с.

28. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. 6th ed. Harlow : Pearson Education Limited, 2015. 648 p.

29. Alciatore D. G., Histand M. B. Introduction to Mechatronics and Measurement Systems. 4th ed. New York : McGraw-Hill, 2007. 552 p.

30. Закон України Про охорону праці. – Відомості Верховної Ради України, 1992 (зі змінами).

31. Запорожець О. І., Протоєрейський О. С., Франчук Г. М., Боровик І. М. Основи охорони праці. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2009. – 264 с.

32. Ткачук К. Н. Основи охорони праці: підручник. / К. Н. Ткачук, М. О. Халімовський, В. В. Зацарний та ін. – К.: Основа, 2006. – 448 с.

33. 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 модуля вирівнювання ґрунту

№	Параметр	Позначення	Од. виміру	Значення
1	Ширина захвату модуля	(B)	м	1,6
2	Глибина обробітку	(h)	м	0,04
3	Швидкість руху	(v)	м/с	0,3
4	Питомий опір ґрунту	(k)	Н/м²	30000
5	Коефіцієнт ККД приводу	(η)	–	0,85
6	Коефіцієнт запасу	$(k_з)$	–	1,1
7	Частка опору грабель	–	–	0,2
8	Крок зубів грабель	(t)	м	0,04
9	Кількість зубів	(n)	шт	40
10	Кут атаки грабель	(α)	град	15
11	Коефіцієнт опору коченню	(f)	–	0,03
12	Маса модуля	(m)	кг	200
13	Прискорення вільного падіння	(g)	м/с²	9,81
14	Максимальна потужність приводу	(N_{max})	кВт	3
15	Довжина оброблюваної ділянки	(L)	м	100
16	Ширина прольоту агромоста	$(L_м)$	м	18
17	Висота ферми	(H)	мм	2000
18	Тип приводу	–	–	електричний
19	Джерело живлення	–	–	АКБ + сонячні панелі
20	Тип робочих органів	–	–	зуби + рейкові граблі

Додаток Б

Результати розрахунку параметрів модуля вирівнювання ґрунту

№	Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1	Миттєва продуктивність	(Q)	м²/с	0,48
2	Годинна продуктивність	$(Q_{год})$	га/год	0,173
3	Об’єм оброблюваного ґрунту	(V)	м³/с	0,0192
4	Тяговий опір розпушувачів	(F_1)	Н	1920
5	Опір рейкових грабель	(F_2)	Н	384
6	Загальний тяговий опір	(F)	Н	2304
7	Опір з урахуванням запасу	$(F_з)$	Н	2534
8	Корисна потужність	$(N_к)$	Вт	691
9	Розрахункова потужність	(N)	кВт	0,81
10	Сила на один зуб	$(F_{зуб})$	Н	48
11	Сила опору коченню	$(F_к)$	Н	60
12	Повний тяговий опір	$(F_{повн})$	Н	2364
13	Кінетична енергія	(E_k)	Дж	9
14	Час проходження 1 м	(t)	с	3,33
15	Питомі енерговитрати	(E)	кВт·год/га	4,68
16	Коефіцієнт використання потужності	$(\eta_{вик})$	–	0,27
17	Коефіцієнт запасу потужності	$(k_{зап})$	–	3,7
18	Кількість зубів	(n)	шт	40
19	Крок зубів	(t)	м	0,04
20	Кут атаки	(α)	град	15

Додаток В

Програмний код C++ для керування роботою вирівнювача

```
// --- ПІНИ ---
#define HEIGHT_SENSOR A0
#define CURRENT_SENSOR A1
#define MOTOR_PWM 5
#define ACTUATOR_PIN 6

// --- ЗАДАНІ ПАРАМЕТРИ ---
float h_set = 0.04;     // задана глибина (м)
float v_set = 0.3;      // задана швидкість (м/с)

// --- КОЕФІЦІЄНТИ ---
float Kp_h = 50.0;
float Kp_v = 30.0;

// --- ЗМІННІ ---
float h_actual = 0;
float v_actual = 0;
float current = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);

  pinMode(MOTOR_PWM, OUTPUT);
  pinMode(ACTUATOR_PIN, OUTPUT);
}
```

```
void loop() {

  // --- ЗЧИТУВАННЯ ДАТЧИКІВ ---
  h_actual = readHeight();
  v_actual = readSpeed();
  current = readCurrent();

  // --- ПОМИЛКИ ---
  float dh = h_set - h_actual;
  float dv = v_set - v_actual;

  // --- КЕРУВАННЯ ГЛИБИНОЮ ---
  float control_h = Kp_h * dh;

  if (control_h > 0) {
    digitalWrite(ACTUATOR_PIN, HIGH); // підняти
  } else {
    digitalWrite(ACTUATOR_PIN, LOW);  // опустити
  }

  // --- КЕРУВАННЯ ШВИДКІСТЮ ---
  float control_v = Kp_v * dv;
  control_v = constrain(control_v, 0, 255);

  analogWrite(MOTOR_PWM, control_v);

  // --- ЗАХИСТ ПО СТРУМУ ---
  if (current > 5.0) { // перевантаження
```

```
    analogWrite(MOTOR_PWM, 0);
    Serial.println("ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ!");
  }

  // --- ВИВІД ---
  Serial.print("h: "); Serial.print(h_actual);
  Serial.print(" v: "); Serial.print(v_actual);
  Serial.print(" I: "); Serial.println(current);

  delay(100);
}

// --- ФУНКЦІЇ ДАТЧИКІВ ---

float readHeight() {
  int val = analogRead(HEIGHT_SENSOR);
  return val * 0.0001; // умовне перетворення
}

float readSpeed() {
  return 0.28; // заглушка (енкодер)
}

float readCurrent() {
  int val = analogRead(CURRENT_SENSOR);
  return val * 0.01;
}
```

Додаток Г

Складові модуля для вирівнювання грунту та агромостової машини

№	Складова	Призначення	Основні параметри	Примітка
МОДУЛЬ ВИРІВНЮВАННЯ ҐРУНТУ				
1	Рама модуля	Несуча конструкція для кріплення всіх елементів	Сталь Ст3, профіль 40×40 мм	Зварна конструкція
2	Розпушувальні зуби	Розпушування ґрунту та руйнування кірки	Глибина 3–5 см, сталь 65Г	Пружинні
3	Рейкові граблі	Вирівнювання поверхні ґрунту	Крок 40 мм,	Пасивний орган
4	Адаптивна механізм агрегатування	Копіювання рельєфу та стабілізація глибини	Висота 0–450 мм	Електричний Лінійний двигун
5	Механізм регулювання	Зміна глибини та положення грабель	Адаптивний механізм агрегатув.	Ручний або автомат
6	Кріпильні елементи	З’єднання вузлів конструкції	Болти М10 та М12	Стандартні

АГРОМОСТОВА МАШИНА				
7	Ферма агромоста	Несуча конструкція всієї системи	Проліт 18 м	Металева
8	Каретка	Переміщення модуля по фермі	Швидкість до 0,3 м/с	Електропривід
9	Привід руху	Забезпечення переміщення каретки	Потужність до 3 кВт	Електродвигун
10	Ланцюгова передача	Передача руху від двигуна	Крок ланцюга 12,7–19 мм	Надійна передача
11	Система живлення	Живлення всіх систем	АКБ + сонячні панелі	Автономна
12	Система керування	Керування роботою модуля	Мікроконтролер	ESP32 / Arduino
13	Датчики	Збір інформації про процес	Висоти, швидкості, струму	Зворотний зв’язок
14	Кабельна система	Передача сигналів і живлення	12–48 В	Захищена
15	Опорні колеса агромоста	Переміщення по рейках	Металеві	Напрямні
16	Рейки	Напрям руху агромоста	Довжина поля	Стаціонарні

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примім.
А1			52.ДП.064.106.100.ВЗ	Вид загальний	1	
		1		Сонячні панелі	18	
		2		Ферма агромоста	1	
		3		Ланцюгова передача	1	
		4		Каретка	1	
		5		Механізм агрегатування	1	
		6	52.ДП.064.106.000.СК	Модуль вирівнювання поверхні ґрун.	1	
		7		Лапо розпушувачі	1	
		8		Зубовий розпушувач	1	
		9		Рейкові граблі	1	
		10		Лінійний двигун	1	
		11		Електрорушій	1	
		12		Аккумуляторно батарея	1	
		13		Шафа керування	1	
		14		Колісний рушій	4	
		15		Напрямні рейки	2	

Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Инв. № подл

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	52.ДП.064.100.000.ВЗ		
Розроб.		Семенков			Агроміст в агрегаті з модулем вирівнювання ґрунту	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.		Бойко						
Т. контр.						ДДАЕУ АІС-2-23		
Н. контр.		Золотоєська						
Зат.		Теслюк						

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
				Документація		
А1			52.ДП.064106.000.СК	Складальне креслення		
				Деталі		
		1		Рама		
А4		2	52.ДП.064106.002	Лапа розпушувач	7	
А4		3	52.ДП.064106.003	Зуб	14	
		4		Поперечина	1	
А3		5	52.ДП.064106.005	Пружинна стійка	3	
А3		6	52.ДП.070106.006	Планка кріплення пружних зубів	1	
А3		7	52.ДП.070106.007	Рейкові граблі	1	
		8		Напрямна втулка	4	
				Стандартні деталі		
		9		Болт М10х60	10	
		10		Гайка М10	10	
		11		Гровер ⌀10	10	
		12		Болт М12х30	3	
		13		Гайка М12	3	
		14		Гровер ⌀12	3	
		15		Гайка М10	14	
		16		Гровер ⌀10	14	
		17		Болт М12Х40	7	
		18		Контр-гайка М12	7	

Подп. и дата | Взам. инв. № | Инв. № дубл. | Подп. и дата | Инв. № подл.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб.		Семенков		
Перев.		Бойко		
Т. контр.				
Н. контр.		Золотовеська		
Зат.		Теслюк		

52.ДП.064106.000.СК

Модуль вирівнювання поверхні ґрунту

Літ.	Арк.	Аркушів

ДДАЕУ
АІС-2-23

Демонстраційний матеріал



а б

Рисунок 2.1 Борони:
а – зубові; б – пружинні



а б



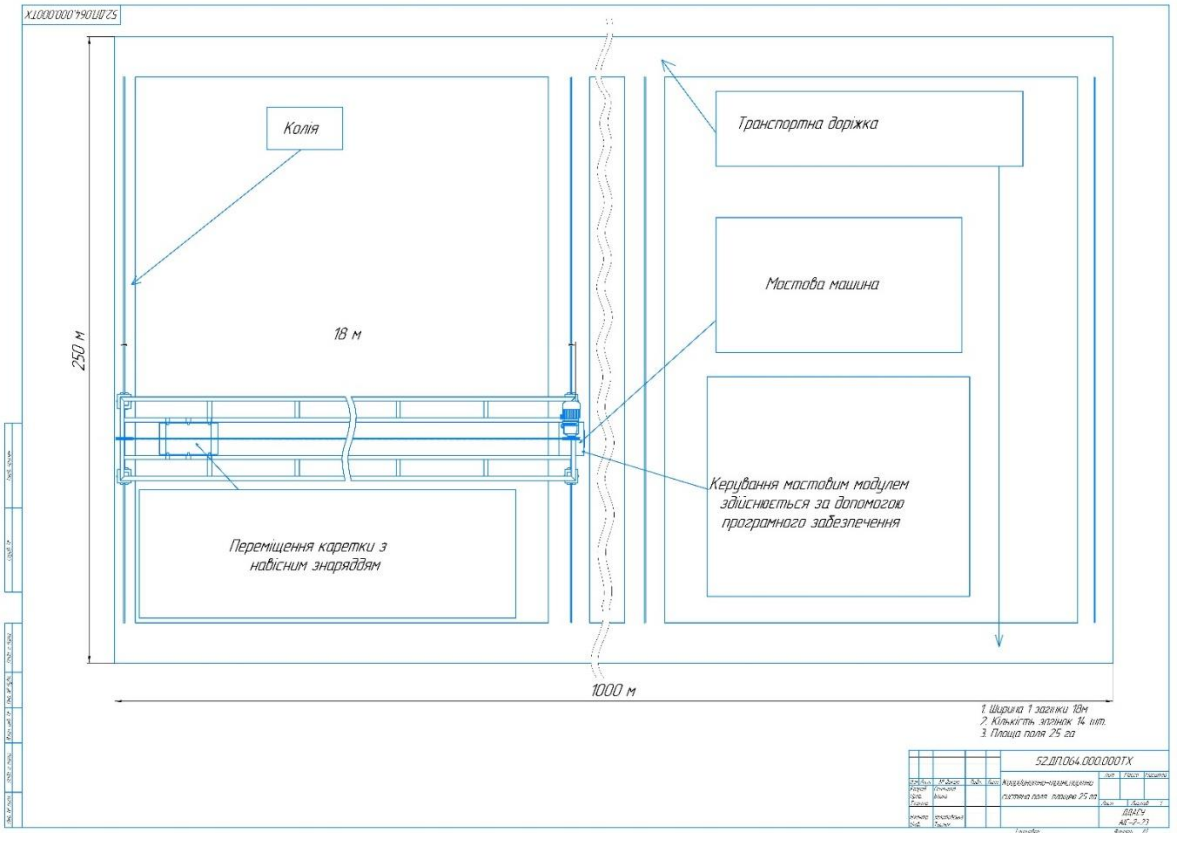
в г

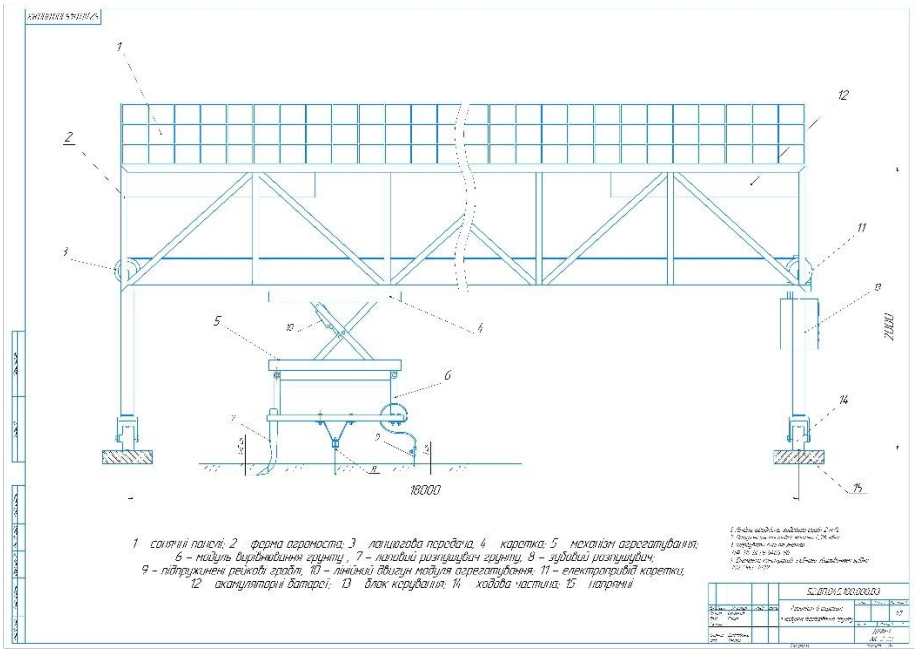
Рисунок 2.2 – Шлейфи:
а - планувальні (балкові); б - комбіновані; в –борінні;
г - ланцюгові





Рисунок 2.3 – Лазерні системи вирівнювання грунту





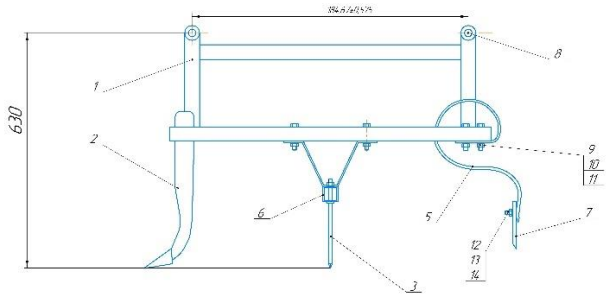
1 – сонячні панелі; 2 – ферма агромоста; 3 – ланцюгова передача; 4 – каретка; 5 – механізм агрегатування; 6 – модуль вирівнювання ґрунту ; 7 – лемішний розпушувач ґрунту; 8 – зубовий розпушувач; 9 – підпружинені рейкові грабли; 10 – лінійний двигун модуля агрегатування; 11 – електроприводні каретки; 12 – акумуляторні батареї; 13 – блок керування; 14 – ходова частина; 15 – напрямні

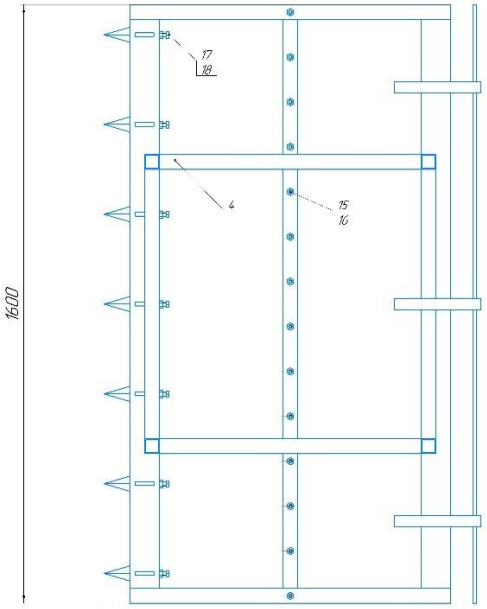
1. Фарби захисні, маркувальні згідно ГОСТ
2. Покриття металевих виробів ГОСТ
3. Зварювання ручне по ГОСТ
4. Загальні допуски згідно ГОСТ
5. Зварювання сталевих виробів виконувати згідно ГОСТ

БД.ДП.ІС.ВО.000.000

Розроб.				Літера	Маса
Перевір.					Масштаб
Н.контр.				Аркуш	Аркушів
Затв.					

Копіював
Формат А1



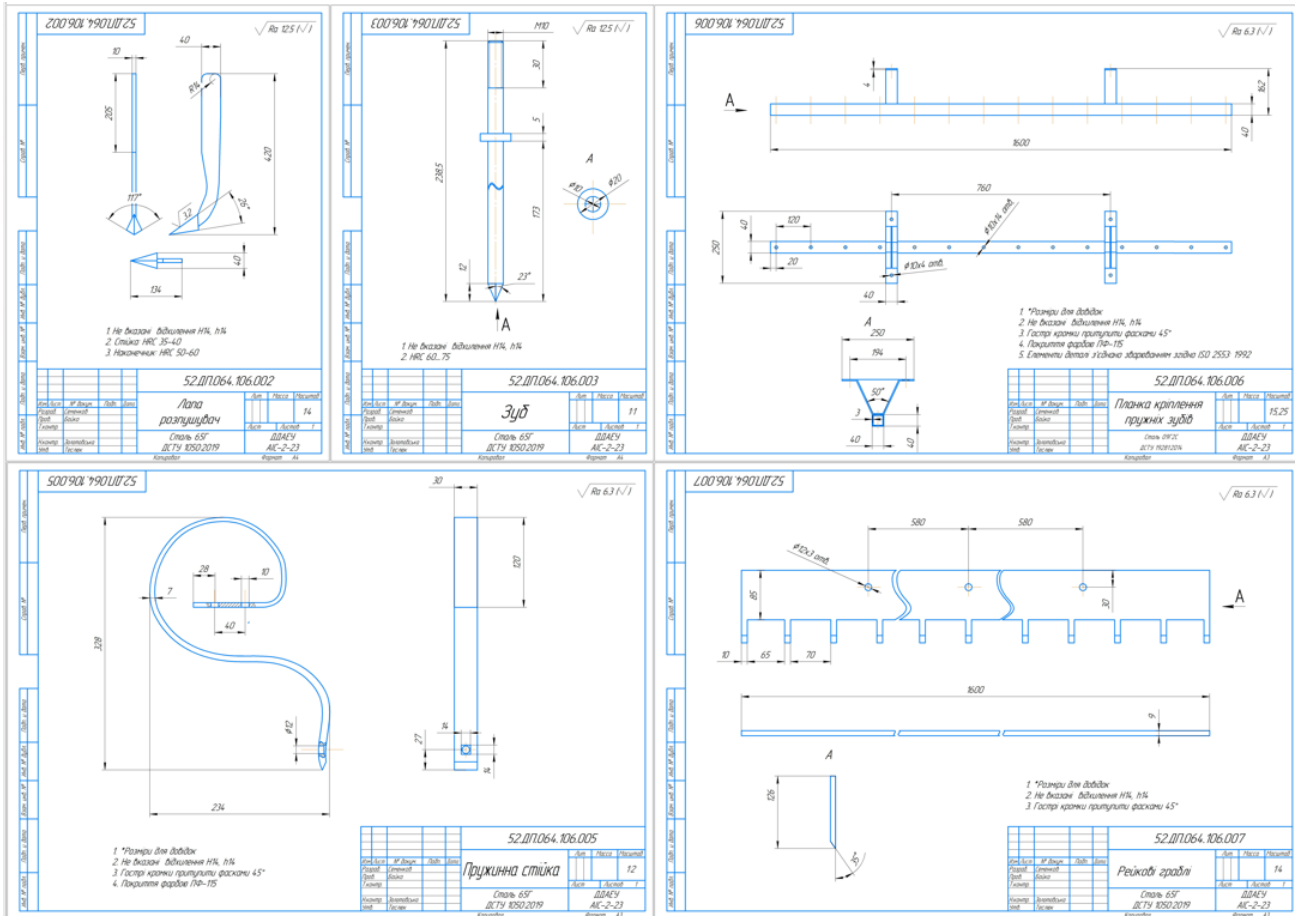


996

1. Лінійна швидкість горизонтальних модулів 0,3 м/с
2. Потужність на валу двигуна 3 кВт
3. Розміри та схеми зчеплення ГОСТ 12.2.072-76
4. Електричні схеми живлення та керування двигунами згідно ГОСТ 7751-85 1990

								52.ДП.064.106.000.СК	
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Дитинчук						Модуль вирівнювання поверхні ґрунту	Літ. Маса Масштаб
Перевір.		Шпиц							14
Т.контр.									Аркуш 1
Н.контр.		Коваленко							ДІПОЛІ ІАГ-2-79
Затв.		Шпиц							

Копіював Формат А3



ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ

№	Показник	Одиниця	Агромостова технологія	Тракторна технологія	Відхилення
1	Площа обробітку	га	25	25	–
2	Продуктивність	га/год	0,173	0,2	+0,027
3	Витрати енергії	кВт·год/га/л/га	4,68	(5)	–
4	Вартість енергії	грн/га	28,08	440	–411,92
5	Річні витрати на енергію	грн	702	11 000	–10 298
6	Витрати на оплату праці	грн	12 600	11 200	+1 400
7	Амортизація	грн	3 685	3 685	0
8	Ремонт	грн	1 842	1 842	0
9	Інші витрати	грн	921	921	0
10	Загальні витрати	грн	19 750	28 648	–8 898
11	Собівартість 1 га	грн/га	790	1 146	–356
12	Економія на 1 га	грн/га	356	–	–
13	Річний економічний ефект	грн	8 900		
14	Додатковий дохід (урожайність)	грн	15 000		
15	Загальний ефект	грн	23 900		
16	Термін окупності	років	0,77		