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 механізму для вкладання напрямних рейок

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

_____ Орищенко Антон Сергійович

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

Орищенку Антону Сергійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. **Тема роботи:** Удосконалення технології мостового землеробства шляхом розробки механізму для вкладання напрямних рейок

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 переміщення ходових систем мостових машин. Актуальні розробки запропоновані в патентах та реалізовані у вигляді діючих пристроїв, наукові напрацювання за даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

4. **Зміст розрахунково-пояснювальної записки** (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз сучасних ходових систем. 3. Обгрунтування конструкції пристрою для укладання напрямних рейок. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка пристрою. Висновки та пропозиції. Бібліографічний список.

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

1.Аналіз господарської діяльності підприємства (А1). 2. Аналіз конструктивних рішень (А1). 3. Конструктивна схема (А1). 4. Складальне креслення (А1). 5. Деталювання (А1). 5. 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 _____ Орищенко А.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Поз.	форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
			Текстові документи		
	А4	52ДП.067.000.000ПЗ	Пояснювальна записка	86	
			Графічні матеріали		
1	А1	52ДП.067.000.000А	Аналіз господарської діяльності підприємства	1	
2	А1	52ДП.067.000.000А	Аналіз конструктивних рішень	1	
3	А1	52ДП.067.000.000ТХ	Конструктивна схема	1	
4	А1	52ДП.067.000.000СК	Складальне креслення	1	
5	А1	52ДП.067.000.000	Деталювання	1	
6	А1	52ДП.067.000.000Е	Економічні показники проекту	1	
			52.ДП.067.000.000.ПД		
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.		
Розроб.		Орищенко А.С.		Літ.	Лист 4 / Листів 86
Перев.		Бойко В.Б.		у	

Т.контр.			*Відомість дипломного проекту*	*ДДАЕУ* *АІ-1-22*
Н.контр.	*Золотовська О.В.*			
Зат.	*Теслюк Г.В.*			

АНОТАЦІЯ

Орищенко А.С. Удосконалення технології мостового землеробства шляхом розробки механізму для вкладання напрямних рейок / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто питання підвищення ефективності мостового землеробства шляхом удосконалення технології монтажу напрямних рейок. Основну увагу приділено розробці спеціалізованого механізму для точного вкладання рейкових елементів, який забезпечує підвищення точності позиціонування, зменшення трудомісткості процесу та скорочення часу виконання монтажних операцій.

У роботі проведено аналіз існуючих технологій мостового землеробства та способів встановлення напрямних систем, визначено їхні недоліки та обґрунтовано необхідність створення нового технічного рішення. Запропоновано конструкцію механізму вкладання рейок, виконано його конструктивно-розрахункове обґрунтування, а також визначено основні параметри роботи в умовах відкритого ґрунту.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та екологічної безпеки при виконанні монтажних робіт. Проведено економічну оцінку впровадження розробленого механізму, яка підтверджує доцільність його використання в умовах сучасного сільськогосподарського виробництва.

Ключові слова:

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 16

1.5. Висновки 19

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА 20

2.1. Сутність та особливості технології мостового землеробства 20

2.2. Аналіз існуючих способів переміщення мостових машин 26

2.3. Аналіз способів зниження витрат на побудову інфраструктури напрямних колій 30

2.4. Аналіз способів та механізмів для вкладання дискретних напрямних рейок 34

2.5. Висновки 38

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА 39

3.1. Обґрунтування конструкції та принцип роботи механізму вкладання напрямних рейок 39

3.2. Розробка мехатронної системи механізму вкладання напрямних рейок 44

3.3. Розрахунок основних параметрів механізму 48

3.4. Вибір основних складових механізму вкладання напрямних рейок 60

3.5. Висновки 63
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА 64
4.1. Аналіз умов праці при монтажі напрямних рейок 64
4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори 65
4.3. Заходи з охорони праці при експлуатації механізму 67
4.4. Екологічна безпека та вплив на навколишнє середовище 69
4.5. Висновки 70
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ 71
5.1. Загальні положення
5.2. Розрахунок витрат на інфраструктуру та порівняння варіантів 73
5.3. Розрахунок економічної ефективності проекту 78
5.4. Висновки 81
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 82
ЛІТЕРАТУРА 84
ДОДАТКИ 87

ВСТУП

Сучасний розвиток сільськогосподарського виробництва характеризується переходом до високотехнологічних систем землеробства, спрямованих на підвищення ефективності використання ресурсів, зниження витрат та мінімізацію негативного впливу на навколишнє середовище. Одним із перспективних напрямів є мостова технологія землеробства, яка передбачає виконання технологічних операцій за допомогою агромостових машин, що переміщуються по спеціально організованій напрямній інфраструктурі [1-3].

Основною перевагою мостового землеробства є відсутність контакту ходової частини машин із ґрунтом, що дозволяє уникнути його ущільнення, покращити агрофізичні властивості та підвищити врожайність сільськогосподарських культур [4-6]. Разом з тим, широке впровадження мостових систем стримується значними витратами на створення напрямної інфраструктури. У традиційних рішеннях використовуються постійні рейкові колії, що потребують великої кількості металу, складних монтажних робіт та значних капітальних вкладень. Це суттєво обмежує економічну доцільність застосування таких систем у виробничих умовах.

У зв’язку з цим актуальним є пошук нових конструктивних і технологічних рішень, спрямованих на зменшення металоємності напрямної інфраструктури та зниження загальних витрат. Одним із таких напрямів є використання дискретних напрямних рейок, які встановлюються безпосередньо в процесі роботи агромостової машини. Реалізація такого підходу потребує розробки спеціального механізму вкладання рейок, здатного забезпечити точність їх позиціонування, надійність роботи та узгодженість із технологічним процесом.

Метою кваліфікаційної роботи є обґрунтування та розробка механізму вкладання напрямних рейок для агромостової машини, що дозволяє підвищити ефективність мостової технології землеробства за рахунок зменшення витрат на створення напрямної інфраструктури.

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

1.1. Загальна характеристика господарства та природно-кліматичні умови

Товариство з обмеженою відповідальністю «ЗОРЯ» є сільськогосподарським підприємством, що здійснює виробничу діяльність у межах Дніпропетровської області. Господарство має вигідне територіальне розташування: воно знаходиться на відстані близько 86 км від м. Дніпро та 16 км від міста Павлоград, що сприяє ефективній організації матеріально-технічного постачання, реалізації продукції та транспортного обслуговування .

Земельний фонд підприємства становить 1700 га сільськогосподарських угідь [7], що створює сприятливі умови для ведення інтенсивного виробництва, впровадження науково обґрунтованих сівозмін та раціонального використання земельних ресурсів. Значні площі обробітку дозволяють господарству підтримувати стабільний рівень виробництва та гнучко реагувати на зміни ринку .

Виробнича структура підприємства має комплексний характер і поєднує рослинницький та тваринницький напрями. Провідну роль відіграє рослинництво, орієнтоване на вирощування зернових і технічних культур, тоді як тваринництво, зокрема вівчарство, забезпечує більш повне використання кормової бази та підвищує загальну ефективність господарювання .

Кадрове забезпечення господарства становить близько 60 працівників, що відповідає масштабам виробництва та дозволяє виконувати повний комплекс технологічних операцій. Наявність кваліфікованого персоналу сприяє підтриманню належного рівня організації виробничих процесів .

Матеріально-технічна база підприємства включає машинно-тракторний парк, виробничі та ремонтні підрозділи, складські приміщення для зберігання продукції, а також сушильні комплекси. Це забезпечує своєчасне виконання

польових робіт, зменшення втрат продукції та підвищення ефективності виробництва в цілому .

Природно-кліматичні умови території характеризуються рівнинним рельєфом із незначними перепадами висот і наявністю балкових систем. Клімат помірно посушливий, що обумовлює необхідність застосування ресурсозберігаючих технологій, спрямованих на накопичення та збереження вологи в ґрунті. Такі умови підвищують вимоги до ефективності використання техніки та точності виконання технологічних операцій .

Таким чином, ТОВ «ЗОРЯ» володіє достатнім виробничим, земельним і технічним потенціалом для впровадження сучасних агротехнологій. З урахуванням тенденцій розвитку точного землеробства, актуальним напрямом удосконалення виробництва є впровадження мостових систем із використанням напрямних рейок, що потребує розробки спеціалізованих механізмів для їх точного та ефективного вкладання.

1.2. Структура виробництва і спеціалізація господарства

Основним напрямом діяльності ТОВ «ЗОРЯ» є рослинництво, яке формує переважну частку валової продукції підприємства. Організація виробництва базується на ефективному використанні земельних ресурсів, дотриманні науково обґрунтованих сівозмін і впровадженні сучасних агротехнологій. Такий підхід забезпечує стабільність виробничих показників і дозволяє підвищувати економічну ефективність господарювання.

У структурі посівних площ переважають зернові культури, зокрема кукурудза на зерно та озима пшениця. Значну частку займають також технічні культури – ріпак і соняшник. Останніми роками в господарстві спостерігається тенденція до диверсифікації виробництва, що проявляється у впровадженні овочівництва як нового перспективного напряму.

Для оцінки структури виробництва розглянемо посівні площі господарства (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Структура посівних площ ТОВ «ЗОРЯ»

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

Як видно з таблиці 1.1, у структурі посівів домінують зернові культури, частка яких перевищує 60 %. При цьому спостерігається поступове збільшення площ під кукурудзою, що свідчить про орієнтацію господарства на більш рентабельні культури. Водночас площі під соняшником і ячменем мають тенденцію до скорочення, що пояснюється оптимізацією сівозміни та зниженням виснаження ґрунтів.

Важливою особливістю розвитку підприємства є впровадження овочевих культур, які характеризуються високою врожайністю та потребують більш інтенсивних технологій вирощування. Це, у свою чергу, підвищує вимоги до якості виконання технологічних операцій, зокрема посіву.

Для більш повної оцінки ефективності рослинницької галузі доцільно розглянути рівень урожайності основних культур (табл. 1.2).

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

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

Аналіз даних таблиці 1.2 свідчить про загальну тенденцію до підвищення врожайності більшості культур. Це досягається за рахунок удосконалення технологій вирощування, застосування сучасних засобів захисту рослин і підвищення культури землеробства. Особливо високі показники урожайності характерні для овочевих культур, що підтверджує їх перспективність у структурі виробництва.

Таким чином, структура виробництва ТОВ «ЗОРЯ» є збалансованою та орієнтованою на підвищення економічної ефективності. Водночас розвиток овочівництва та впровадження інтенсивних технологій обумовлюють

необхідність підвищення точності виконання технологічних операцій. Це створює передумови для впровадження мостового землеробства та розробки спеціалізованих механізмів, зокрема для вкладання напрямних рейок, що забезпечить підвищення якості та ефективності виробництва.

1.3. Рівень механізації та енергозабезпечення технологічних процесів

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

Рівень механізації виробництва оцінюється за показниками енергозабезпеченості, які наведені в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Показники рівня механізації ТОВ «ЗОРЯ»

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

Аналіз показників таблиці 1.3 свідчить про поступове зростання рівня механізації господарства. Збільшення сумарної потужності машинно-тракторного парку та підвищення енергозабезпеченості на 1 гектар свідчать про розвиток технічної бази підприємства. Одночасно спостерігається зниження витрат палива та енергоємності виробництва, що є позитивною тенденцією та вказує на більш раціональне використання техніки.

Незважаючи на це, при виконанні технологічних операцій, особливо посіву, не завжди досягається необхідна точність. Це пов’язано як із конструктивними особливостями існуючих машин, так і зі ступенем їх зношеності. В умовах розвитку овочівництва такі недоліки стають критичними, оскільки точність висіву безпосередньо впливає на врожайність.

Крім того, використання традиційної колісної техніки призводить до ущільнення ґрунту, що негативно впливає на його фізичні властивості та знижує ефективність використання вологи.

Таким чином, рівень механізації та енергозабезпечення ТОВ «ЗОРЯ» є достатнім для ведення сучасного сільськогосподарського виробництва, однак потребує подальшого вдосконалення. Перспективним напрямом є впровадження мостової технології землеробства, яка дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити енерговитрати та усунути негативний вплив техніки на ґрунт. Це, у свою чергу, обумовлює необхідність розробки механізму для вкладання напрямних рейок як складової даної технології.

До складу технічного забезпечення входять трактори різних тягових класів, зернозбиральні комбайни, ґрунтообробні агрегати, посівна техніка, обприскувачі та транспортні засоби. Наявність різнопрофільної техніки дозволяє формувати ефективні машинно-тракторні агрегати залежно від умов виконання робіт та забезпечує дотримання оптимальних агротехнічних строків.

Для оцінки технічного потенціалу господарства розглянемо склад машинно-тракторного парку (табл. 1.4).

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

Група техніки	Найменування техніки	Кількість, шт.
Трактори	МТЗ-821, МТЗ-892	7
	К-700, ХТЗ-17021	4
	John Deere 8320, Case MXA 255	2
Комбайни	John Deere 9500, КЗС-9-1	3
Обприскувачі	Case IH 3320, Вектор-3000	3
Плуги	ПЛН-3-35, ПЛП-5-35, John Deere 3810	12
Культиватори	КПС-4, КРН, КПН, ТМ «Титан»	23
Борони	ДМ-6, ДМТ-6	5
Сівалки	СЗ-3,6; СЗ-5,4; СЧПН-8; John Deere	16
Посівні комплекси	Case SDX 30, Concord 2000	4
Інша техніка	Котки, розкидачі, навантажувачі	15
Транспорт	КрАЗ, МАЗ, MAN, ГАЗ-53	13
	КрАЗ-65055 Самоскид	4
	МАЗ-5551 Самоскид	3
	MAN TGA Вантажний автомобіль (тягач)	2
	ГАЗ-53 Бортовий автомобіль	4

Як видно з таблиці 1.3, господарство має достатньо широкий спектр технічних засобів для виконання всіх основних технологічних операцій. Поєднання вітчизняної та імпортної техніки дозволяє підвищити гнучкість виробництва та забезпечити ефективне використання ресурсів. Наявність сучасних тракторів і посівних комплексів сприяє підвищенню продуктивності праці та зниженню витрат пального.

Разом із тим, частина технічного парку представлена застарілими машинами, які мають нижчі показники точності роботи та вищу енергоємність. Це особливо важливо при виконанні операцій, що потребують високої точності, зокрема при сівбі овочевих культур.

1.4. Економічні показники та обґрунтування доцільності проекту

Ефективність функціонування сільськогосподарського підприємства визначається сукупністю виробничо-економічних показників, які відображають рівень використання земельних, трудових і матеріально-технічних ресурсів. Аналіз цих показників дозволяє оцінити фінансовий стан господарства та визначити напрями підвищення ефективності виробництва. Основні економічні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ» наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 – Основні економічні показники діяльності ТОВ «ЗОРЯ»

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

Аналіз даних таблиці 1.5 свідчить про стабільний розвиток господарства. Рентабельність рослинництва залишається на високому рівні, що обумовлено ефективною структурою посівних площ і впровадженням сучасних агротехнологій. Спостерігається поступове зростання заробітної плати працівників, що свідчить про підвищення економічної стійкості підприємства. Одночасно зменшення кредитної заборгованості вказує на покращення фінансового стану господарства.

Важливим показником ефективності є обсяг виробництва продукції рослинництва, який безпосередньо впливає на фінансові результати діяльності (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Обсяги виробництва продукції рослинництва ТОВ «ЗОРЯ»

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

Як видно з таблиці 1.6, основний обсяг виробництва формується за рахунок зернових культур, зокрема кукурудзи та пшениці. Спостерігається позитивна динаміка виробництва кукурудзи та ріпаку, що обумовлено як розширенням площ, так і підвищенням урожайності. Водночас зростання

обсягів виробництва овочевих культур свідчить про перехід до більш інтенсивних технологій вирощування.

Разом із позитивними тенденціями у діяльності підприємства існують і певні проблеми, що стримують подальше підвищення ефективності виробництва. До основних з них належать:

– значні витрати палива при виконанні технологічних операцій;
– недостатня точність виконання посівних і ґрунтообробних процесів;
– ущільнення ґрунту внаслідок руху традиційної колісної техніки;
– обмежені можливості автоматизації виробничих процесів.

Зазначені проблеми призводять до підвищення собівартості продукції, зниження врожайності та нераціонального використання ресурсів. Особливо актуальними вони є в умовах розвитку овочівництва, де висуваються підвищені вимоги до точності виконання технологічних операцій.

Одним із перспективних напрямів вирішення зазначених проблем є впровадження мостової технології землеробства. Її застосування дозволяє:

– усунути ущільнення ґрунту за рахунок руху техніки по стаціонарних напрямних;

– підвищити точність виконання технологічних операцій; – зменшити енерговитрати;

– створити умови для автоматизації виробничих процесів.

Ключовим елементом реалізації мостового землеробства є система напрямних рейок, яка забезпечує рух агромосту. Від якості їх монтажу залежить точність роботи всієї системи. Традиційні методи укладання рейок характеризуються високою трудомісткістю, значними витратами часу та недостатньою точністю.

У зв’язку з цим виникає необхідність розробки спеціалізованого механізму для вкладання напрямних рейок, який дозволить:

– забезпечити точне позиціонування рейок у просторі;

– скоротити тривалість монтажних робіт;

– зменшити трудові витрати;

– підвищити надійність і довговічність рейкової системи.

Таким чином, аналіз економічних показників діяльності ТОВ «ЗОРЯ» підтверджує доцільність впровадження інноваційних технологій у виробництво. Розробка механізму для вкладання напрямних рейок є актуальним технічним рішенням, спрямованим на підвищення ефективності використання мостової технології землеробства, зниження витрат і покращення загальних економічних результатів господарства.

1.5. Висновки

1. Аналіз діяльності ТОВ «ЗОРЯ» показав, що господарство має достатній виробничий, земельний і технічний потенціал та характеризується стабільними економічними показниками, що створює передумови для впровадження сучасних технологій.

2. Встановлено, що існуючий рівень механізації не повною мірою забезпечує необхідну точність виконання технологічних операцій і супроводжується значними енерговитратами, особливо в умовах розвитку овочівництва.

3. Обґрунтовано доцільність впровадження мостової технології землеробства та розробки механізму для вкладання напрямних рейок як ефективного засобу підвищення точності робіт, зниження витрат і покращення загальної ефективності виробництва.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Сутність та особливості технології мостового землеробства

Сучасний розвиток сільського господарства характеризується переходом від традиційних енергоємних технологій до ресурсозберігаючих та високоточних систем виробництва. Одним із перспективних напрямів такого розвитку є мостове землеробство, яке передбачає використання спеціалізованих машин, що переміщуються над полем по стаціонарних опорах або напрямних рейках, не контактують із оброблюваною поверхнею і забезпечують виконання технологічних операцій із високою точністю.

Сутність мостової технології полягає у принциповій зміні підходу до організації руху технічних засобів. На відміну від традиційних машинно-тракторних агрегатів, які переміщуються безпосередньо по ґрунту, агромостові машини рухаються по фіксованих коліях або рейкових напрямних, розташованих по краях або вздовж поля. Це дозволяє повністю виключити контакт ходових систем із ґрунтом у зоні вирощування культур.

Основною конструктивною особливістю агромосту (рис. 2.1) [8] є наявність просторової несучої ферми (3), яка перекриває задану ширину оброблюваної ділянки (зазвичай від 6 до 24 м і більше), та рухомого технологічного модуля (5), на якому розміщуються робочі органи. Несуча конструкція спирається на колісні опори з електроприводом (2, 11), що переміщуються по напрямних коліях (1, 12), забезпечуючи стабільний і контрольований рух уздовж поля. Для забезпечення точності руху та маневреності застосовуються сервоприводи керування колесами (14).

Ферма (3) виконується у вигляді жорсткої просторової металоконструкції з діагональними зв’язками, що забезпечують необхідну міцність і мінімальні прогини під навантаженням. У верхній частині конструкції можуть бути розміщені сонячні панелі (4), які разом із батареєю живлення (13) формують

автономну енергетичну систему машини. Енергія від накопичувачів використовується для живлення асинхронного двигуна (9), приводів переміщення та допоміжних систем.

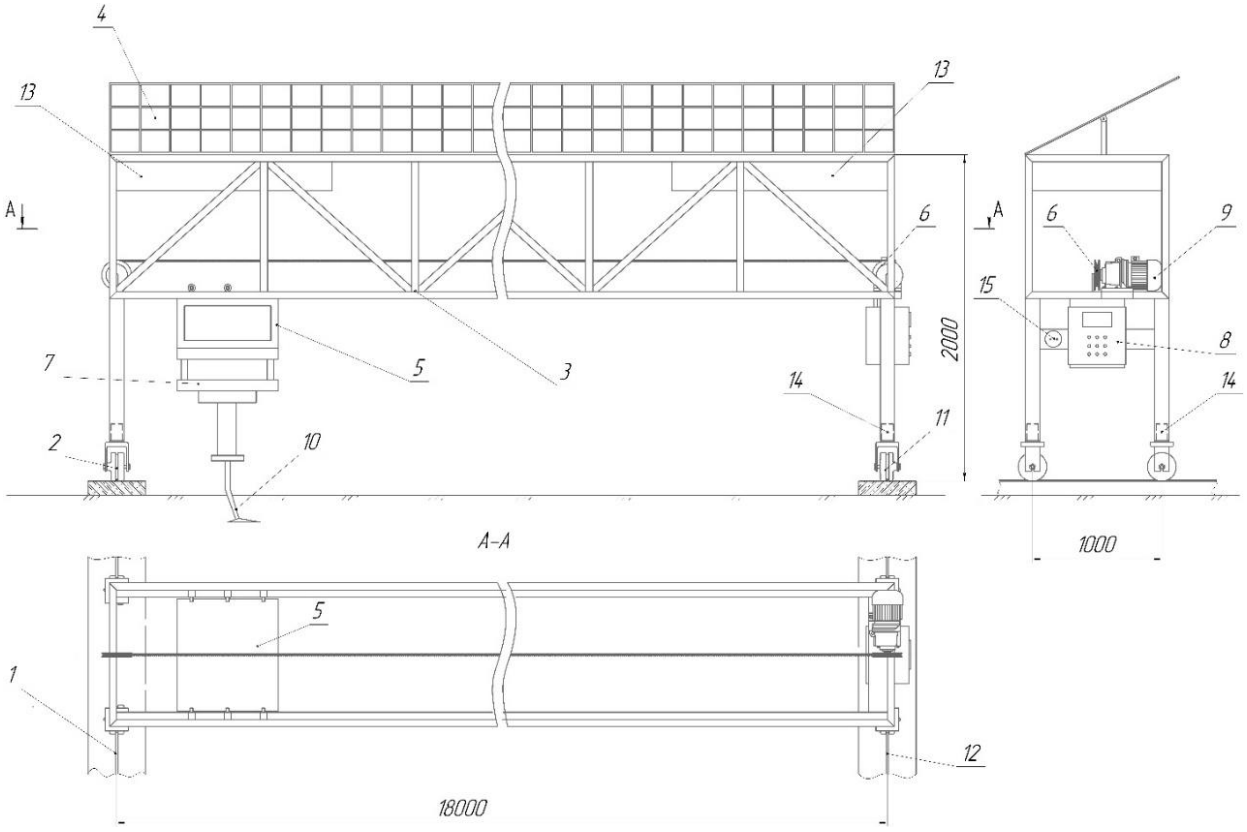


Рисунок 2.1 – Загальний вигляд двоопорного агромоста

1, 12 – колії; 2, 11 – колеса з електроприводом; 3 – остов агромостової машини; 4 – сонячні панелі 5 – рухомий модуль агромоста; 6 – привід модуля; 7 – модуль агрегатування; 8 – пост керування; 9 – асинхронний двигун; 10 – навісні робочі органи; 13 – батарея живлення; 14 – сервоприводи керування колісами; 15 – зарядне гніздо

Рухомий модуль агромосту (5) встановлений на напрямних ферми та переміщується вздовж неї за допомогою приводу (6). На модулі розміщуються навісні робочі органи (10), які виконують технологічні операції – посів, обробіток ґрунту, внесення добрив або інші процеси. Для забезпечення

універсальності конструкції передбачено модуль агрегатування (7), який дозволяє змінювати робоче обладнання залежно від виду виконуваних робіт.

Керування всіма процесами здійснюється з поста керування (8), який забезпечує контроль параметрів руху, роботи приводів та технологічних операцій. Для підключення до зовнішніх джерел живлення або заряджання акумуляторів передбачено зарядне гніздо (15).

Така конструкція дозволяє реалізувати координатний принцип обробітку поля, при якому переміщення агромосту по коліях (1, 12) поєднується з рухом технологічного модуля (5) вздовж ферми (3), що забезпечує виконання широкого спектра операцій без повторного проходження техніки по одному і тому ж сліду.

Застосування мостової технології забезпечує ряд суттєвих переваг у порівнянні з традиційними системами землеробства.

По-перше, повністю усувається ущільнення ґрунту в зоні вирощування культур. У традиційних технологіях рух техніки призводить до деградації структури ґрунту, зниження його пористості та водопроникності. У мостових системах це явище відсутнє, що сприяє підвищенню врожайності.

По-друге, забезпечується висока точність виконання технологічних операцій. Рух по жорстко фіксованих напрямних дозволяє реалізувати системи автоматизованого керування з мінімальними відхиленнями від заданих координат.

По-третє, зменшуються енерговитрати. Відсутність буксування та оптимізація траєкторії руху дозволяють знизити витрати палива та енергії.

По-четверте, створюються умови для повної автоматизації виробничих процесів, включаючи інтеграцію з системами точного землеробства.

Існуючі технології землеробства та їх порівняння. Для більш глибокого розуміння переваг мостової технології землеробства доцільно порівняти його з традиційною технологією та технологією Controlled Traffic Farming (CTF) (рис. 2.2) [9-12].

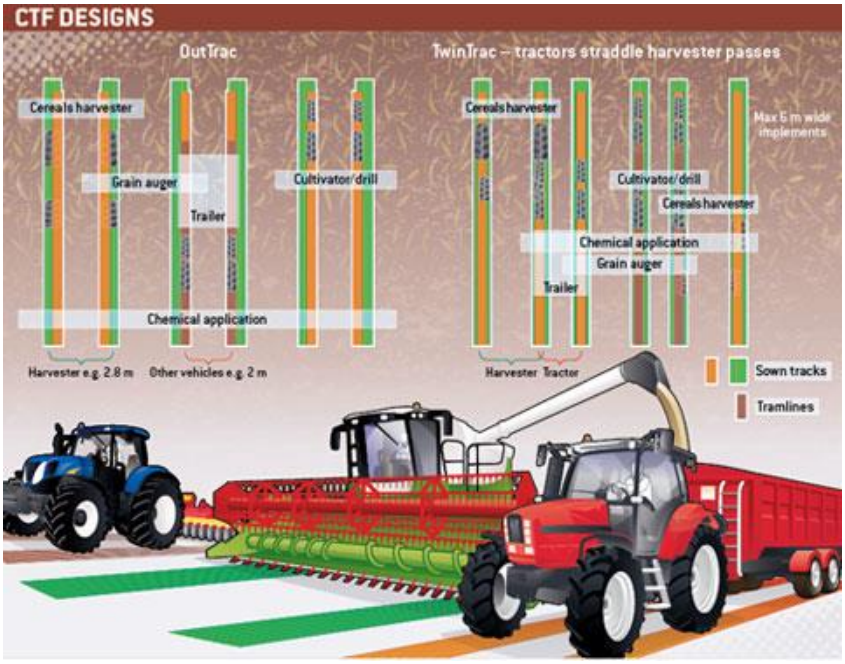


Рисунок 2.2 – Особливості технології Controlled Traffic Farming

Результати порівняння технологій представимо в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика технологій землеробства

Показник	Традиційна технологія	Controlled Traffic Farming (CTF)	Мостове землеробство
Контакт техніки з ґрунтом	Повний	Частковий	Відсутній
Ущільнення ґрунту	Високе	Знижене	Практично відсутнє
Точність виконання операцій	Середня	Висока	Дуже висока
Енерговитрати	Високі	Середні	Знижені
Рівень автоматизації	Низький	Середній	Високий
Потреба в інфраструктурі	Низька	Середня	Висока

Як видно з таблиці 2.1 мостова технологія забезпечує значно вищу точність виконання технологічних операцій. Завдяки переміщенню машини по жорстко фіксованих напрямних виключається похибка, пов’язана з пробуксовуванням, нерівностями рельєфу або людським фактором. Це створює передумови для впровадження автоматизованих і роботизованих систем керування, що є важливим елементом сучасного точного землеробства.

Не менш важливою перевагою є зниження енерговитрат. У традиційних технологіях значна частина енергії витрачається на подолання опору коченню та деформацію ґрунту. У випадку мостового землеробства ці втрати значно зменшуються, оскільки рух здійснюється по жорсткій опорній поверхні рейок, що дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії енергетичної системи.

Водночас впровадження мостової технології пов’язане з необхідністю створення спеціальної інфраструктури, яка включає систему напрямних рейок, опорні елементи та засоби енергозабезпечення. Саме наявність такої інфраструктури є основною відмінністю від традиційних систем землеробства і визначає як переваги, так і певні обмеження цієї технології. Зокрема, значні початкові витрати на встановлення рейкових систем можуть стримувати її широке впровадження.

Таким чином, незважаючи на наявність певних технічних і економічних труднощів, мостове землеробство є перспективним напрямом розвитку сільськогосподарського виробництва що підтвердужують наведені дані в таблиці 2.2. Його впровадження дозволяє суттєво підвищити ефективність використання ресурсів, однак потребує вдосконалення технічних засобів, зокрема розробки механізмів для точного та ефективного вкладання напрямних рейок, що і є предметом даного дослідження.

Таблиця 2.2 – Основні показники ефективності мостової технології

№	Показник	Мостова технологія	Традиційна технологія	Характер зміни
1	Витрати палива, л/га	40–60	70–100	↓ 25–40 %
2	Витрата електр. кВт·год/га	900–1200	1400–1800	↓ 30–35 %
3	ККД енергосистеми, %	75–85	50–65	↑
4	Втрати на буксування, %	0–5	15–25	↓
5	Ущільнення ґрунту, %	0–5	60–80	↓ суттєво
6	Рівномірність висіву, %	90–98	75–85	↑
7	Стабільність глибини, см	±1	±3–5	↑точність
8	Польова схожість, %	92–97	80–90	↑
9	Урожайність, ц/га	+10–25 %	базовий рівень	↑
10	Точність позиціонування, см	1–2	5–10	↑
11	Швидкість виконання операцій, км/год	5–10	6–12	≈
12	Знос техніки, %	нижчий	вищий	↓
13	Рівень автоматизації	високий	низький/середній	↑
14	Собівартість продукції, грн/га	↓ на 15–25 %	базовий рівень	↓
15	Трудомісткість, люд.-год/га	↓ на 20–40 %	вища	↓
16	Окупність системи, років	3–6	–	–
17	Початкові інвестиції, грн/га	високі	низькі	↑
18	Викиди CO_2, кг/га	↓ на 20–35%	базовий рівень	↓
19	Рівень деградація ґрунту	мінімальна	значна	↓
20	Збереження вологи, %	↑ на 10–20 %	нижче	↑

2.2. Аналіз існуючих способів переміщення мостових машин

Ефективність роботи агромостових машин значною мірою визначається способом їх переміщення, оскільки саме він впливає на точність виконання технологічних операцій, рівень енерговитрат, надійність конструкції та загальну продуктивність системи. У сучасних умовах застосовуються різні варіанти організації руху мостових машин, які відрізняються принципом взаємодії з опорною поверхнею та конструктивним виконанням.

Найбільш поширеним є рейковий спосіб переміщення, при якому агромостова машина рухається по стаціонарно встановлених напрямних, розташованих уздовж поля. Як показано на рисунку 2.3, у даному випадку забезпечується висока точність руху – на рівні 1–2 см, що досягається за рахунок жорсткої фіксації траєкторії. Енерговитрати при цьому становлять у середньому 0,8–1,2 кВт·год/га, що на 25–35 % менше порівняно з традиційними системами. Втрати на буксування практично відсутні (не більше 3–5 %), а ресурс ходових елементів збільшується на 20–30 % [13].



Рисунок 2.3 – Використання рейкового способу переміщення агромоста

Колісний спосіб переміщення по ґрунту (рис. 2.4) є більш простим у конструктивному відношенні, однак характеризується значно гіршими показниками. Точність переміщення в цьому випадку становить 5–10 см, а при складних умовах може знижуватись до 15 см. Витрати палива досягають 70–100 л/га, що пов’язано з опором коченню та буксуванням, яке може становити 15–25 %. Крім того, площа ущільнення ґрунту досягає 60–80 %, що негативно впливає на агротехнічні показники [14].



Рисунок 2.4 – Колісний спосіб переміщення

Канатно-тросові системи (рис. 2.5) забезпечують часткове усунення контакту з ґрунтом і характеризуються енерговитратами на рівні 1,0–1,5 кВт·год/га. Однак точність позиціонування в таких системах обмежена і зазвичай становить 3–7 см, що пов’язано з коливаннями тросів і впливом зовнішніх факторів. Крім того, необхідність постійного контролю натягу тросів ускладнює експлуатацію.

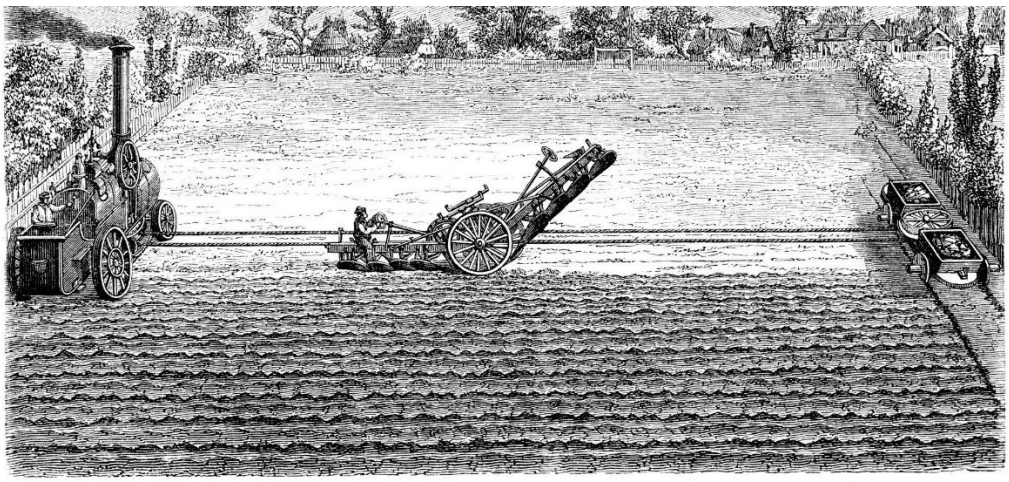


Рисунок 2.5 – Канатно-тросовий спосіб переміщення

Комбіновані системи (рисунок 2.6) поєднують рейковий рух основної конструкції з переміщенням робочого модуля по фермі, що забезпечує високу точність позиціонування на рівні 1–3 см і універсальність використання. У таких системах агроміст рухається вздовж поля по напрямних рейках, тоді як модуль агрегатування зі знаряддям переміщується поперек ферми, що дозволяє реалізувати координатний принцип обробітку без повторного проходження техніки. Для переміщення модуля найчастіше застосовують рейкові напрямні з електроприводом, які забезпечують високу жорсткість і точність роботи. Альтернативою є тросо-канатний привід, що дозволяє зменшити масу та спростити конструкцію, однак має меншу точність (до 3–5 см) і потребує контролю натягу тросів.

Поєднання цих способів дає змогу досягти компромісу між точністю, енергоефективністю та складністю конструкції. Водночас такі системи потребують синхронізації рухів у двох координатах і використання сучасних систем керування, що ускладнює конструкцію та підвищує її вартість [15-19].

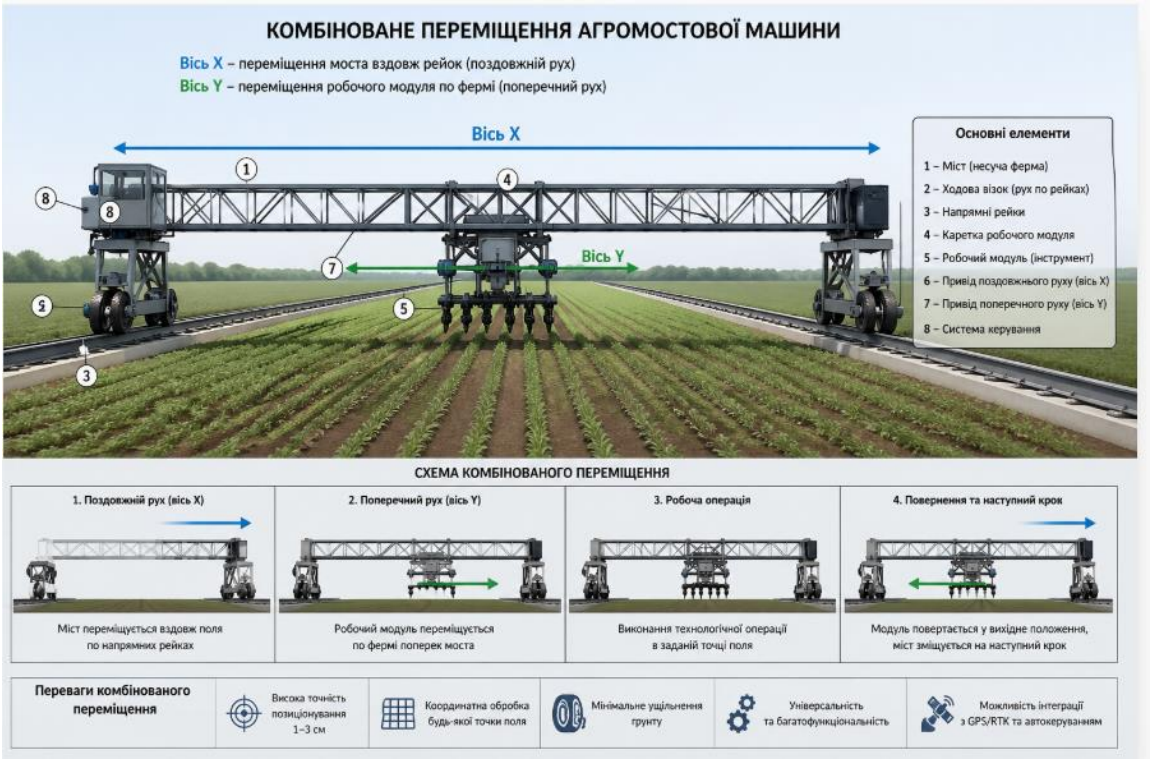


Рисунок 2.6 – Комбінований спосіб переміщення агромоста

Для більш наочного порівняння основних характеристик розглянутих способів переміщення наведемо узагальнені дані в таблиці 2.5.

Таблиця 2.3 – Порівняльні техніко-експлуатаційні показники способів переміщення агромостових машин

Показник	Рейковий спосіб	Колісний спосіб	Канатний спосіб	Комбінований
Точність переміщення, см	1–2	5–15	3–7	1–3
Витрати енергії, кВт·год/га	1,0–1,4	1,5–2,5	1,0–1,5	0,8–1,2
Втрати на буксування, %	0–5	15–25	0–10	0–5
Ущільнення ґрунту, % площі	0–5	60–80	0–10	0–5
Рівень автоматизації	Високий	Середній	Середній	Високий
Складність конструкції	Середня	Низька	Середня	Середня
Вартість впровадження	Висока	Низька	Середня	Середня
Надійність роботи	Висока	Середня	Нижча	Висока

Врахувавши результати проведеного аналізу, для умов даного проєкту найбільш ефективним є застосування комбінованого способу переміщення, який передбачає використання рейкової системи для руху основної конструкції

агромосту та тросо-канатного механізму для переміщення модуля агрегатування із знаряддям. Такий підхід дозволяє поєднати високу точність і стабільність рейкового руху з конструктивною простотою та меншою масою рухомих елементів тросо-канатної системи.

Як видно з таблиці 2.5, рейковий спосіб переміщення має найкращі показники за критеріями точності, енергоефективності та мінімального впливу на ґрунт. Саме він забезпечує стабільність руху агромосту та дозволяє реалізувати основні переваги мостової технології землеробства. Водночас застосування тросо-канатного приводу для переміщення робочого модуля дозволяє зменшити навантаження на несучу конструкцію, спростити компоновку системи та підвищити її гнучкість дещо менші енерговитрати.

Основним обмеженням рейкового способу є необхідність створення точної та надійної системи напрямних рейок. Відхилення в їх геометрії навіть на рівні 5–10 мм можуть призвести до перекосів конструкції, підвищення навантажень на ходові вузли та зниження довговічності системи. У свою чергу, тросо-канатні системи потребують постійного контролю натягу та синхронізації приводів.

Таким чином, застосування комбінованого способу переміщення дозволяє максимально ефективно використати переваги кожного з розглянутих варіантів.

2.3. Аналіз способів зниження витрат на побудову інфраструктури напрямних колій

Одним із основних стримуючих факторів впровадження мостової технології землеробства є значні капітальні витрати на створення інфраструктури напрямних колій. До складу цих витрат входять витрати на матеріали (металоконструкції, рейки, опори), підготовку основи, монтажні роботи, транспортування та забезпечення необхідної точності встановлення. У зв’язку з цим важливим завданням є розробка та впровадження технічних

рішень, спрямованих на зниження загальної вартості інфраструктури без погіршення її експлуатаційних характеристик.

Проведений аналіз показує, що зменшення витрат можливе за рахунок оптимізації конструкції напрямних елементів, удосконалення технології їх монтажу, використання альтернативних матеріалів, механізації процесу укладання, а також застосування нових підходів до організації самої рейкової системи.

Оптимізація конструкції напрямних рейок. Зменшення матеріаломісткості рейкових елементів є одним із найбільш очевидних шляхів зниження витрат. Це може бути досягнуто шляхом використання полегшених профільних конструкцій, раціонального підбору перерізу та впровадження модульного принципу побудови напрямних.

Застосування збірних секцій дозволяє не тільки зменшити витрати матеріалу, але й спростити транспортування, знизити витрати на виготовлення та підвищити швидкість монтажу.

Спрощення підготовки основи. Суттєва частка витрат припадає на підготовку основи під рейкові колії. Традиційні підходи передбачають значні земляні роботи, вирівнювання та ущільнення ґрунту.

Альтернативним рішенням є використання локального підсилення опорних зон, наприклад шляхом встановлення опорних стовпчиків або використання ущільнених основ із геоматеріалами. Це дозволяє зменшити обсяг підготовчих робіт і скоротити витрати.

Використання альтернативних матеріалів. Зниження вартості інфраструктури також можливе за рахунок застосування альтернативних матеріалів для виготовлення напрямних. До таких матеріалів належать:

– полегшені сталеві профілі;

– алюмінієві сплави;

– композитні матеріали;

– залізобетонні елементи.

Вибір матеріалу залежить від вимог до міцності, довговічності та економічної доцільності.

Механізація процесу укладання рейок. Значним резервом зниження витрат є скорочення трудомісткості монтажних робіт. Використання ручної праці або універсальної техніки призводить до збільшення часу укладання та зниження точності.

Застосування спеціалізованих механізмів для вкладання рейок дозволяє:

– скоротити тривалість монтажу у 1,5–2 рази;

– зменшити кількість обслуговуючого персоналу;

– підвищити точність встановлення напрямних;

– знизити загальні витрати на будівництво інфраструктури.

Оптимізація технології монтажу. Раціональна організація монтажних робіт дозволяє суттєво знизити витрати. До основних заходів належать:

– використання попередньо зібраних секцій;

– застосування шаблонів для контролю геометрії;

– зменшення кількості операцій вирівнювання;

– автоматизація вимірювальних процесів.

Використання дискретних (переставних) напрямних секцій. Перспективним напрямом зниження витрат є застосування дискретних напрямних секцій замість суцільних рейкових колій. У цьому випадку напрямні довжиною близько 1,5–2,0 м укладаються на попередньо підготовлені опорні стовпчики лише в зоні контакту з агромостом.

Агромостова машина спирається на ці секції через опорні привідні мотор-колеса, після чого, у процесі руху, наступна секція встановлюється попереду. Таким чином формується «рухома колія», яка переміщується разом із машиною.

Застосування такого підходу дозволяє:

– зменшити витрати металу на 60–80 %;

– відмовитися від будівництва суцільних рейок;

– спростити інфраструктуру;

– знизити загальні капітальні витрати.

Однак реалізація цього способу потребує ефективної механізації процесу укладання напрямних. Найбільш доцільним є використання спеціалізованого механізму (рейковкладача), який може працювати паралельно з виконанням технологічної операції. У момент, коли агроміст знаходиться в нерухомому положенні, механізм укладання забезпечує встановлення наступної напрямної секції.

Таблиця 2.6 – Способи зниження витрат на побудову напрямних колій

№	Спосіб	Суть методу	Ефект
1	Оптимізація конструкції	Полегшені профілі	↓ витрат матеріалу
2	Спрощення основи	Локальні опори	↓ земляних робіт
3	Альтернативні матеріали	Композити, алюміній	↓ вартості
4	Механізація укладання	Спецмеханізми	↓ трудомісткості
5	Оптимізація монтажу	Секції, шаблони	↓ часу
6	Дискретні напрямні	Рухома колія	↓ металу на 60–80 %

Таким чином, найбільш ефективними способами зниження витрат є механізація процесу укладання напрямних та застосування дискретних рейкових секцій. Останній підхід дозволяє суттєво скоротити матеріальні витрати, однак потребує створення спеціалізованого механізму для їх укладання.

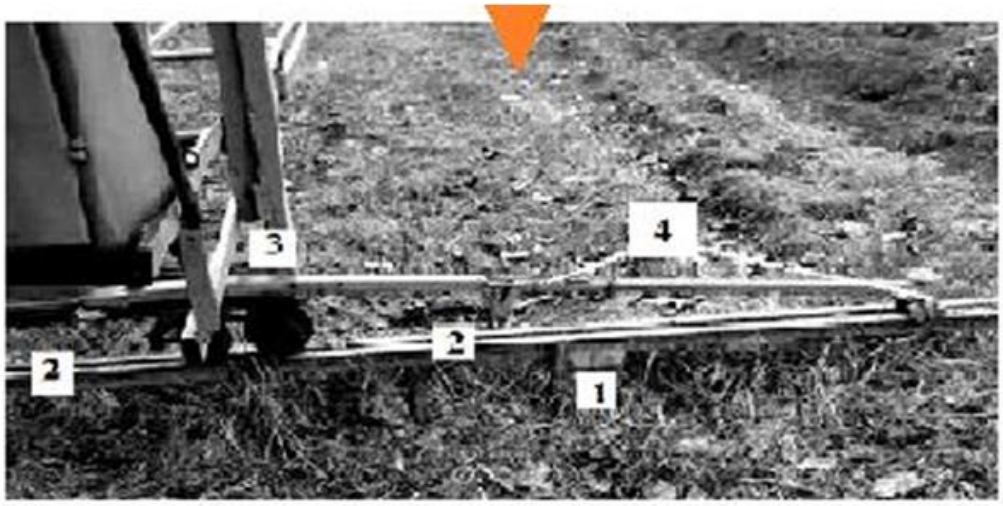
Це підтверджує доцільність розробки рейковкладача, як ключового елемента мостової технології землеробства, що забезпечить підвищення ефективності, точності та економічної доцільності впровадження агромостових систем.

2.4. Аналіз способів та механізмів для вкладання дискретних напрямних рейок

Застосування дискретних напрямних рейок як альтернативи суцільним коліям дозволяє суттєво знизити витрати на створення інфраструктури мостового землеробства. Однак ефективність такого підходу визначається не лише конструкцією напрямних елементів, а й способом їх вкладання. На відміну від традиційних рейкових систем, де монтаж виконується одноразово, дискретні напрямні потребують багаторазового переміщення та встановлення в процесі роботи агромостової машини. Це висуває підвищені вимоги до точності, швидкості та ступеня механізації процесу.

Аналіз існуючих підходів показує, що способи вкладання дискретних напрямних рейок можна умовно поділити на ручні, механізовані та автоматизовані, кожен із яких має свої особливості та обмеження.

Ручні способи вкладання. Ручне вкладання передбачає переміщення та встановлення напрямних секцій із використанням простих інструментів без застосування механізованих приводів (рис. 2.7) [4, 8].



1 – опори; 2 – опорні рейки; 3 – підтримуючий візок;
4 – маніпулятор

Рисунок 2.7 – Ручний спосіб вкладання рейок за допомогою маніпулятора

Такий спосіб характеризується мінімальними витратами на обладнання, однак має суттєві недоліки. Основними обмеженнями є висока трудомісткість, низька продуктивність і складність забезпечення необхідної точності встановлення (відхилення можуть досягати 10–20 мм). У випадку дискретних напрямних, які необхідно часто переставляти, ручний спосіб стає економічно та технологічно неефективним.

Механізовані способи вкладання. Механізовані способи передбачають використання підйомно-транспортних засобів, таких як маніпулятори, крани або навантажувачі (рис. 2.8), для переміщення та встановлення напрямних секцій. Це дозволяє значно зменшити фізичні навантаження на персонал і підвищити швидкість виконання робіт.

Водночас точність встановлення в значній мірі залежить від оператора і зазвичай становить 5–10 мм. Крім того, відсутність спеціалізованих напрямних систем у таких засобах ускладнює точне позиціонування напрямних секцій відносно опор. Часті зупинки агромосту для виконання монтажних операцій також знижують загальну продуктивність системи.



Рисунок 2.8 – Механізований спосіб вкладання рейок

Спеціалізовані механізми вкладання [20, 21]. До цієї групи належать пристрої, призначені безпосередньо для укладання напрямних елементів. У загальному випадку вони включають механізми захоплення, переміщення та позиціонування напрямної секції. Перевагами таких механізмів є підвищена точність встановлення (до 2–5 мм) та зниження впливу людського фактора. Проте існуючі рішення здебільшого орієнтовані на стаціонарне укладання довгомірних рейок (рис. 2.9) і не адаптовані до умов роботи з короткими дискретними секціями в полі.



Рисунок 2.8 – Спеціалізовані механізми вкладання

Автоматизовані способи вкладання. Перспективним напрямом є використання автоматизованих механізмів, інтегрованих безпосередньо в конструкцію агромосту. У таких системах процес вкладання напрямних здійснюється без участі оператора або з мінімальним його втручанням.

Особливістю даного підходу є можливість виконання монтажу паралельно з технологічним процесом. Наприклад, у момент, коли робочий модуль агромоста виконує операцію при нерухомій фермі, механізм вкладання може здійснювати встановлення наступної напрямної секції. Це дозволяє забезпечити безперервність роботи та підвищити ефективність використання машини.

Автоматизовані системи потребують використання датчиків положення, систем керування та сервоприводів, що підвищує складність конструкції, однак забезпечує найвищий рівень точності (1–3 мм) і продуктивності.

Таблиця 2.8 – Порівняльна характеристика способів вкладання дискретних напрямних рейок

Показник	**Ручні**	**Механізовані**	**Спеціалізовані**	**Автоматизовані**
Точність, мм	10–20	5–10	2–5	1–3
Продуктивність	Низька	Середня	Висока	Дуже висока
Трудомісткість	Висока	Середня	Низька	Мінімальна
Залежність від оператора	Висока	Середня	Низька	Мінімальна
Безперервність процесу	Низька	Обмежена	Часткова	Висока
Адаптація до дискретних	Низька	Середня	Обмежена	Висока

Як видно з таблиці 2.8, найбільш ефективними є спеціалізовані та автоматизовані способи вкладання, які забезпечують необхідну точність і продуктивність. Водночас існуючі механізми не повною мірою адаптовані до роботи з дискретними напрямними рейками в умовах мостового землеробства.

Особливо важливим є забезпечення безперервності технологічного процесу, що можливе лише при інтеграції механізму вкладання в конструкцію агромосту. Це дозволяє виконувати монтаж паралельно з основною операцією та мінімізувати простої машини. Таким чином, проведений аналіз показує, що ефективне використання дискретних напрямних рейок можливе лише за умови застосування спеціалізованого механізму для їх вкладання. Такий механізм повинен забезпечувати високу точність, швидкість і можливість роботи в автоматизованому режимі.

Це обумовлює необхідність розробки рейковкладача, інтегрованого в агромостову систему, що дозволить реалізувати переваги дискретної рейкової інфраструктури та підвищити загальну ефективність мостового землеробства.

2.5. Висновки

1. Встановлено, що мостова технологія забезпечує високу точність виконання операцій, зменшення ущільнення ґрунту та зниження енерговитрат порівняно з традиційними системами.

2. Аналіз способів переміщення показав, що рейкові системи є найбільш точними, однак потребують значних витрат на інфраструктуру. Найбільш доцільним для даного проєкту є комбінований спосіб, який поєднує рейковий рух агромосту та тросо-канатне переміщення робочого модуля.

3. Встановлено, що ефективним шляхом зниження витрат є використання дискретних напрямних рейок, які дозволяють суттєво скоротити матеріальні витрати, але потребують частого переміщення та точного встановлення.

4. Аналіз способів і засобів їх вкладання показав, що існуючі рішення не забезпечують необхідної точності та продуктивності, що обумовлює необхідність розробки спеціалізованого механізму для укладання напрямних рейок.

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Обґрунтування конструкції та принцип роботи механізму вкладання напрямних рейок

На основі проведеного аналізу встановлено, що ефективне впровадження мостової технології землеробства з використанням дискретних напрямних рейок можливе лише за умови створення спеціалізованого механізму для їх вкладання. Основною задачею такого механізму є забезпечення точного, швидкого та багаторазового встановлення напрямних секцій у процесі роботи агромостової машини без зупинки технологічного процесу.

Для умов даного проєкту прийнято використання агромостової машини рейкового типу з такими основними параметрами:

– проліт ферми – 12…18 м;

– висота конструкції – до 2,0 м;

– швидкість переміщення агромосту – до 1,5–2,0 м/с;

– тип рушіїв – металеві мотор-колеса;

– тип інфраструктури – дискретні напрямні рейки;

– довжина напрямної секції – 2 м;

– крок встановлення опорних стовпчиків – 2 м.

Обґрунтування конструктивної схеми базується на принципі “рухомої колії”, при якому агроміст спирається рушіями на одну (передню) напрямну рейку, тоді як інша (задня) після проходу машини підлягає перестановці вперед. Такий підхід дозволяє мінімізувати кількість рейкових елементів і суттєво знизити витрати металу.

Також ссобливістю конструкції є розміщення балки маніпулятора перпендикулярно до поздовжньої осі агромоста (під кутом 90°), що забезпечує можливість переміщення каретки із напрямною рейкою через ферму агромоста із задньої у передню зону.

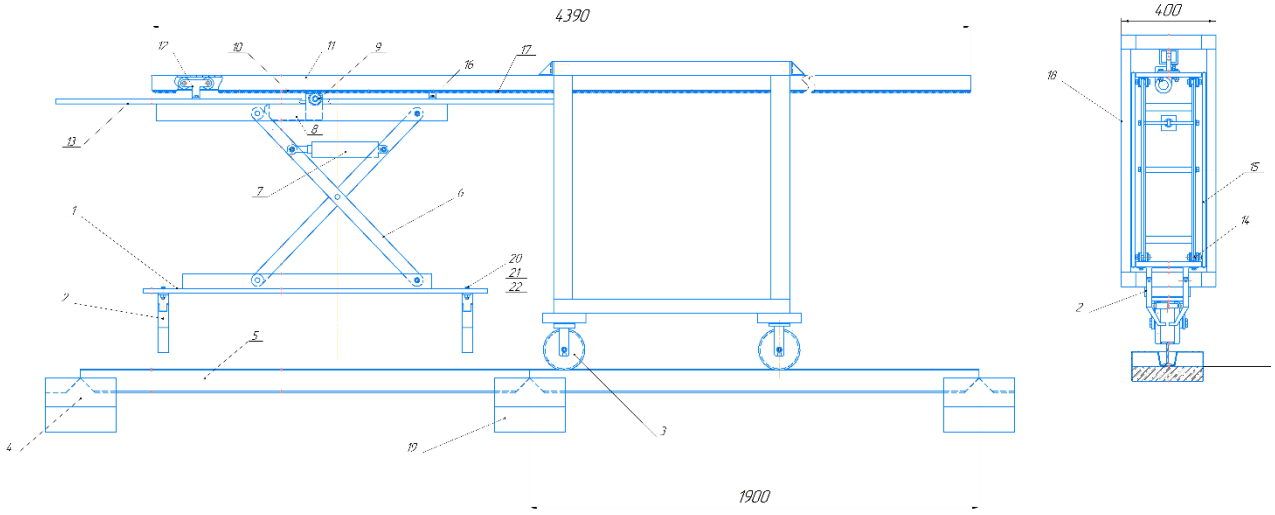


Рисунок 3.1 – Конструктивна схема механізму вкладання напрямних рейок

1 – нижня траверса; 2 – захват; 3 – мотор-колесо; 4 – замок; 5 – напрямна рейка; 6 – підйомний ножничний механізм; 7 – лінійний двигун; 8 – електропривід; 9 – шестерня; 10 – рейка; 11 – напрямна балка; 12 – ролики; 13 – верхня траверса; 14 – ролики ножничного механізму; 15 – бокові ролики; 16 – кріплення роликів; 17 – винт кріплення рейки; 18 – рама опори; 19 – опорний стовпчик; 20, 21, 22 - болтове кріплення захвату

З урахуванням цього механізм вкладання доцільно розташовувати у торцевій частині ферми агромосту. Це забезпечує можливість захоплення задньої напрямної рейки, її підйому, винесення вперед за габарити машини та встановлення на наступні опорні стовпчики.

Опис конструкції механізму. Конструктивно механізм вкладання напрямних рейок складається з таких основних вузлів:

– несучий вузол кріплення, який забезпечує жорстке встановлення механізму в торцевій частині ферми;

– підйомно-опускний модуль, призначений для вертикального переміщення маніпулятора;

– маніпулятор у вигляді лінійного переміщуваного модуля, що рухається по напрямній балці з використанням зубчастої рейки та шестерні;

– захоплюючий пристрій, що забезпечує надійну фіксацію рейки;

– система позиціонування, яка включає датчики положення та забезпечує точність встановлення;

– приводи (електромеханічні або гідравлічні) для реалізації рухів механізму;

– блок керування, який координує роботу всіх вузлів.

Механіз підйому 6 виконується у вигляді ножничної шарнірно-зчленованої конструкції, що дозволяє здійснювати просторове переміщення захвату 2. Захоплюючий пристрій оснащується механічними захватами 2, які забезпечують надійне утримання рейки під час транспортування.

Робота механізму вкладання напрямних рейок здійснюється циклічно та синхронізується з роботою агромостової машини. На початковому етапі агроміст переміщується по передній напрямній рейці 5, яка вже встановлена на опорних стовпчиках. Задня рейкова секція, що залишилася після проходу машини, знаходиться позаду.

Після зупинки агромостової машини процес вкладання напрямної рейки здійснюється у вигляді послідовного технологічного циклу. На першому етапі механізм опускається до рівня розташування задньої напрямної рейки, після чого захоплюючий пристрій забезпечує її надійну фіксацію. Далі за допомогою підйомно-опускного механізма 6 здійснюється піднімання рейки на безпечну висоту, необхідну для її транспортування.

На наступному етапі механізм виконує переміщення напрямної рейки вперед за межі агромостової конструкції. Після цього здійснюється

позиціонування рейки відносно опорних стовпчиків із використанням системи датчиків положення, що забезпечує необхідну точність орієнтації. У процесі встановлення рейка опускається на опорні елементи та займає проектне положення в замку 4, після чого виконується її остаточна фіксація та контроль правильності встановлення.

Завершальним етапом циклу є повернення механізму у вихідне положення, що забезпечує готовність механізму до виконання наступної операції. Після завершення повного циклу агромостова машина переміщується вперед на довжину встановленої напрямної секції, яка становить 1,9 м, і процес повторюється.

Запропонована конструктивна схема механізму вкладання напрямних рейок забезпечує низку суттєвих переваг. Зокрема, використання дискретних напрямних дозволяє значно зменшити витрати металу, а застосування спеціалізованого механізму забезпечує високу точність встановлення рейок у межах 1–3 мм. Крім того, конструкція передбачає можливість автоматизації процесу, що сприяє підвищенню продуктивності та зменшенню трудомісткості робіт. Важливою особливістю є також забезпечення безперервності технологічного циклу, оскільки операції з вкладання можуть виконуватись паралельно з основними технологічними процесами.

Таким чином, обрана конструктивна схема механізму вкладання напрямних рейок є технічно обґрунтованою, відповідає вимогам мостової технології землеробства та створює передумови для подальшого виконання інженерних розрахунків і розробки конструкції рейковкладача.

У запропонованій схемі агромостова машина спирається на дві напрямні рейки, розташовані на відстані, що відповідає довжині ферми. Це забезпечує стійкість конструкції та дозволяє використовувати два механізми вкладання рейок (у передній і задній частинах), які працюють синхронно.

Таблиця 3.1 – Основні параметри агромостової машини та механізму вкладання напрямних рейок

№	Параметр	Позначення	Одиниця виміру	Значення
1	2	3	4	5
Параметри агромостової машини				
1	Проліт ферми	L	м	12–18
2	Висота агромосту	H	м	до 2,5
3	База агромосту (відстань між опорами)	B	м	12–18
4	Швидкість переміщення агромосту	v_1	м/с	0,5–2,0
5	Тип рушіїв	–	–	мотор-колеса (металеві)
6	Кількість опорних візків	n	шт	2–4
7	Кількість механізмів вкладання	n_m	шт	2 (передній і задній)
8	Тип енергоживлення	–	–	електричне
Параметри рейкової інфраструктури				
9	Довжина напрямної секції	l_p	м	1,9
10	Крок встановлення опорних стовпчиків	l_o	м	1,9
11	Висота опорного стовпчика	h_o	мм	200–300
12	Допустиме відхилення встановлення рейки	Δ	мм	1–3
13	Кількість одночасно використовуваних рейок	n_r	шт	2

Продовження табл. 3.1

Параметри механізму вкладання				
1	2	3	4	5
14	Тип механізму	–	–	маніпуляторний
15	Тип приводу підйому	–	–	електромеханічний
16	Тип приводу переміщення	–	–	Рейка-шестерня
17	Хід підйомного механізму	S	мм	500–800
18	Виліт маніпулятора	R	мм	1500–1600
19	Вантажопідйомність механізму	Q	кг	50–70
20	Час одного циклу вкладання	tц	с	20–40
21	Точність позиціонування	δ	мм	1–3
22	Тип системи керування	–	–	автоматизована

Синхронізація роботи переднього та заднього механізмів здійснюється засобами мехатронної системи керування, що забезпечує узгоджене виконання операцій вкладання та стабільність руху агромоста.

3.2. Розробка мехатронної системи механізму вкладання напрямних рейок

Ефективне функціонування механізму вкладання напрямних рейок значною мірою визначається рівнем його автоматизації, що досягається за рахунок впровадження мехатронної системи керування [22]. Така система забезпечує узгоджену роботу виконавчих органів, контроль положення напрямної секції та реалізацію алгоритму її вкладання з необхідною точністю.

У межах даного проєкту мехатронна система розглядається як інтегрована сукупність механічних, електричних, електронних і програмних компонентів, об’єднаних єдиною системою керування. Загальна структура мехатронної системи механізму вкладання напрямних рейок наведена на рисунку 3.2.

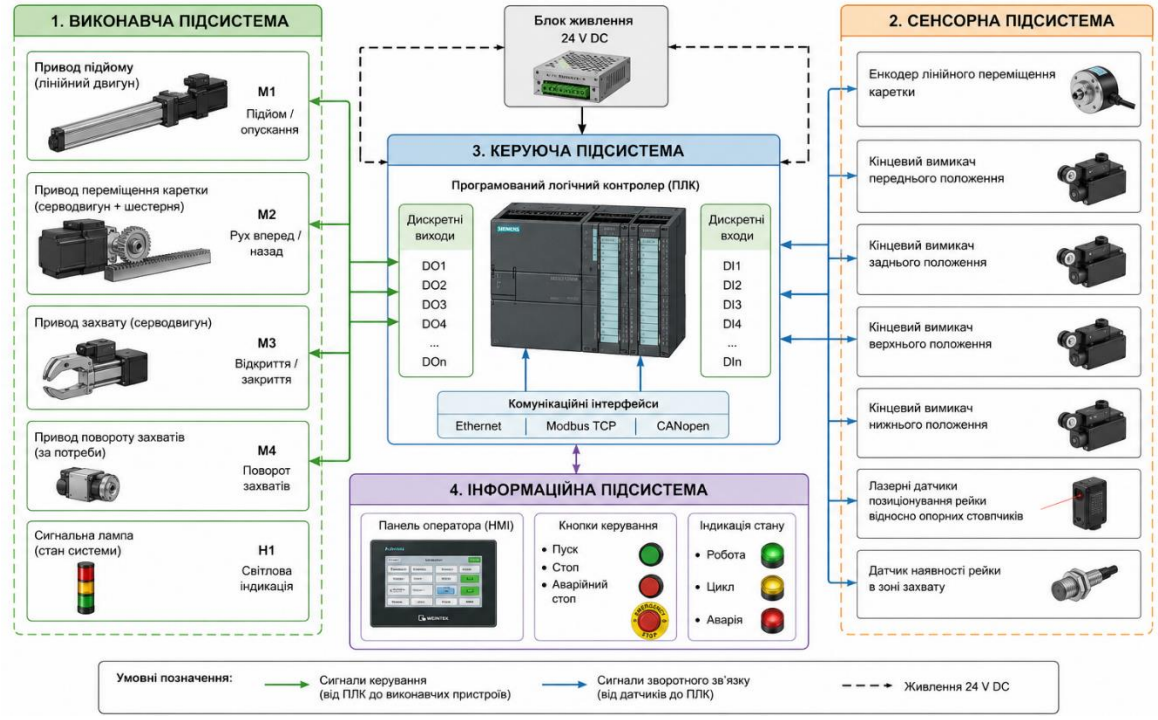


Рисунок 3.2 – Мехатронна система механізму вкладання рейок

Основною метою розробки мехатронної системи є забезпечення автоматизованого виконання технологічного циклу вкладання напрямної секції з точністю позиціонування в межах 1–3 мм, а також синхронізація роботи механізму з переміщенням агромостової машини.

Особливістю роботи системи є переміщення механізма захвату через ферму агромоста у поперечному напрямку, що забезпечує перестановку напрямної рейки із задньої зони у передню без зміни положення самої агромостової конструкції.

Структурно мехатронна система включає виконавчу, сенсорну, керуючу та інформаційну підсистеми. Виконавча підсистема реалізує механічні рухи та представлена електромеханічними приводами підйому, переміщення модуля та роботи захоплюючого пристрою. Для забезпечення необхідної точності доцільним є використання серводвигунів із замкнутим контуром керування.

Сенсорна підсистема призначена для отримання інформації про положення елементів механізму та напрямної секції. Вона включає енкодери, кінцеві вимикачі, а також оптичні або лазерні датчики, що забезпечують контроль положення рейки відносно опорних стовпчиків. Використання сенсорної системи дозволяє реалізувати принцип зворотного зв’язку та підвищити точність встановлення.

Керуюча підсистема побудована на базі програмованого логічного контролера, який забезпечує обробку сигналів від датчиків, керування приводами та реалізацію алгоритму роботи механізму. Взаємодія між елементами системи здійснюється через стандартні промислові інтерфейси зв’язку.

Інформаційна підсистема забезпечує взаємодію оператора з механізмом і включає панель керування, засоби індикації та налаштування параметрів роботи системи.

Принцип роботи мехатронної системи полягає у послідовному виконанні операцій технологічного циклу вкладання напрямної рейки. Після отримання відповідної команди контролер активує виконавчі механізми, забезпечуючи захоплення, підйом, переміщення, позиціонування та встановлення напрямної секції. У процесі виконання кожної операції здійснюється постійний контроль положення за допомогою сенсорної підсистеми, що дозволяє коригувати рухи та забезпечувати необхідну точність.

Як показано на рисунку 3.2, взаємодія між підсистемами організована за принципом замкнутого контуру керування, що дозволяє мінімізувати вплив зовнішніх факторів і забезпечити стабільність роботи механізму.

Таким чином, розроблена мехатронна система забезпечує високоточне автоматизоване вкладання напрямних рейок, узгоджену роботу всіх виконавчих механізмів та підвищує ефективність функціонування агромостової машини при реалізації принципу рухомої колії.

Робота мехатронної системи механізму вкладання напрямних рейок здійснюється за наперед заданим алгоритмом, що реалізується програмованим логічним контролером та базується на принципі замкнутого керування із використанням сигналів зворотного зв'язку від сенсорної підсистеми.

Після переїзду на наступну рейку, що встановлена попереду одночасно з виконанням технологічної операції запускається в роботу мехатронна система механізму вкладання напрямної секції. Контролер ініціює виконання послідовності операцій, починаючи із перевірки стану системи та готовності виконавчих органів до роботи.

На першому етапі здійснюється позиціонування модуля механізму вкладання у зону розташування задньої напрямної секції. Після досягнення необхідного положення активується захоплюючий пристрій, який фіксує рейку. Сигнали від датчиків підтверджують надійність захоплення, після чого система переходить до наступного етапу.

Далі відбувається підйом напрямної секції на задану висоту за допомогою електромеханічного приводу (лінійних двигунів). Положення контролюється енкодерами та кінцевими вимикачами, що забезпечує точність переміщення і запобігає перевантаженню механізму.

Після підйому модуль захвату здійснює лінійне переміщення рейки вперед уздовж напрямної балки за допомогою зубчастої рейки та шестерні.

Цей етап супроводжується синхронізацією роботи приводів та контролем траєкторії руху.

На етапі позиціонування система за допомогою лазерних датчиків визначає положення опорних стовпчиків і коригує положення рейки у просторі. Це дозволяє забезпечити точність встановлення в межах 1–3 мм.

Після досягнення заданого положення виконується опускання напрямної секції на опорні стовпчики. Далі система здійснює контроль правильності встановлення та, у разі необхідності, виконує незначні коригування положення.

Після встановлення рейки захоплюючий пристрій розкривається, механізм звільняє напрямну секцію та повертається у вихідне положення. Контролер фіксує завершення циклу та подає сигнал дозволу переміщення агромостової конструкції вперед в межах встановленої рейки (2 м).

Таким чином, алгоритм роботи за розробленою програмою (додаток Б) мехатронної системи забезпечує повністю автоматизований цикл вкладання напрямних рейок із мінімальною участю оператора, високою точністю та узгодженістю з технологічним процесом.

3.3. Розрахунок основних параметрів механізму

Метою даного розрахунку є визначення силових, кінематичних та енергетичних параметрів механізму вкладання напрямних рейок з урахуванням удосконаленої конструктивної схеми, що передбачає використання лінійного переміщення каретки по зубчастій рейці [23-24].

У процесі розрахунку визначаються маса напрямної секції, сили, що діють на механізм, параметри приводу переміщення, а також основні характеристики зубчастої передачі. Розрахунок виконуємо згідно вихідних даних наведених в додатку А.

Визначення маси напрямної рейки

Маса напрямної рейки визначається як добуток її лінійної маси на довжину:

$$m = m_0 \cdot l \tag{3.1}$$

де m_0=11,2 кг/м – лінійна маса рейки;

l=1,9 м – довжина рейки.

$$m = 11{,}2 \cdot 1{,}9 = 22{,}4 \text{ кг}$$

Визначення ваги рейки

Вага рейки визначається як:

$$G = m \cdot g \tag{3.2}$$

де g=9,81 м/с².

$$G = 22{,}4 \cdot 9{,}81 = 219{,}7\text{Н}$$

Визначення сили інерції:

При розгоні рейки виникає інерційна сила:

$$F_{\text{ін}} = m \cdot a \tag{3.3}$$

де a=0,5 м/с² - прискорення в процесі переміщення.

$$F_{\text{ін}} = 22{,}4 \cdot 0{,}5 = 11{,}2 \text{ Н}$$

Визначення сили тертя

Сила тертя визначається як:

$$F_{\text{тр}} = f \cdot G \tag{3.4}$$

де f =0,1 – коефіцієнт тертя:

$$F_{\text{тр}} = 0{,}1 \cdot 219{,}7 = 21{,}97 \text{ Н}$$

Визначення сили вітрового навантаження

Сила вітрового навантаження, що діє на напрямну рейку під час її переміщення, визначається за аеродинамічною залежністю:

$$F_{\text{в}} = 0{,}5 \cdot \rho \cdot C_d \cdot S \cdot v^2 \tag{3.5}$$

$$F_{\text{в}} = 0{,}5 \cdot 1{,}225 \cdot 1{,}2 \cdot 0{,}2 \cdot 10^2 = 14{,}7\ \text{Н}$$

Сумарне навантаження, що діє на механізм під час переміщення напрямної рейки, визначається як сума всіх основних складових сил, зокрема ваги рейки, інерційної сили, сили тертя та вітрового навантаження:

$$F_{\Sigma} = G + F_{\text{ін}} + F_{\text{тр}} + F_{\text{в}} \tag{3.6}$$

$$F_{\Sigma} = 219{,}7 + 11{,}2 + 21{,}97 + 14{,}7 = 267{,}6\ \text{Н}$$

З метою забезпечення надійної роботи механізму та врахування можливих додаткових навантажень, що можуть виникати під час експлуатації, вводиться коефіцієнт запасу. Розрахункове зусилля визначається як добуток сумарного навантаження на коефіцієнт запасу:

$$F = k \cdot F_{\Sigma} \tag{3.7}$$

де F – розрахункове зусилля, Н;

k=1,5 – коефіцієнт запасу;

$F_{\Sigma} = 267{,}6$ – сумарне навантаження.

Підставляючи числові значення у формулу (3.7), отримаємо:

$$F = 1{,}5 \cdot 267{,}6 = 401{,}4\ \text{Н}$$

Отримане значення розрахункового зусилля враховує вплив додаткових факторів, таких як нерівномірність руху, можливі перевантаження, знос механізмів та зовнішні впливи. Саме це значення використовується при подальших розрахунках приводу, елементів передачі та конструкції механізму вкладання напрямних рейок.

Потужність переміщення

$$P = F \cdot v \tag{3.8}$$

$$P = 401{,}4 \cdot 0{,}15 = 60{,}2 \text{ Вт}$$

З урахуванням втрат у механічній системі, що виникають у передачах, підшипниках та напрямних елементах, фактична потужність електродвигуна повинна перевищувати теоретично необхідну. Тому потужність двигуна визначається з урахуванням коефіцієнта корисної дії системи

$$P_{\text{дв}} = \frac{P}{\eta} \tag{3.9}$$

де: $P_{\text{дв}}$ – необхідна потужність електродвигуна, Вт;

P=60,2 Вт – потужність, що витрачається на переміщення рейки;

η=0,75 – коефіцієнт корисної дії механічної системи.

Підставляючи числові значення у формулу (3.9), отримаємо:

$$P_{\text{дв}} = \frac{60{,}2}{0{,}75} = 80{,}3 \text{ Вт}$$

Оскільки у реальних умовах експлуатації можливі додаткові втрати енергії, а також необхідно забезпечити надійність роботи приводу, вводиться коефіцієнт запасу потужності. Тоді номінальна потужність двигуна визначається за формулою:

$$P_{\text{ном}} = k_p \cdot P_{\text{дв}} \tag{3.10}$$

де: k_p=1,3 – коефіцієнт запасу потужності.

$$P_{\text{ном}} = 1{,}3 \cdot 80{,}3 = 104{,}4 \text{ Вт}$$

Отримане значення свідчить, що для забезпечення стабільної роботи механізму доцільно застосувати електродвигун стандартного ряду потужністю 120–150 Вт, що забезпечує необхідний запас за потужністю та надійність функціонування системи.

Для визначення геометричних параметрів зубчастої передачі необхідно розрахувати діаметр ділильного кола шестерні. Він визначається як добуток модуля зубчастого зачеплення на кількість зубів:

$$d = m \cdot z \tag{3.11}$$

де: d – діаметр ділильного кола шестерні, мм;

m=2 мм – модуль зубчастої передачі;

z=20 – кількість зубів шестерні.

Підставляючи числові значення у формулу (3.11), отримаємо:

$$d = 2 \cdot 20 = 40 \text{ мм}$$

Отриманий діаметр визначає основні геометричні параметри шестерні та використовується при подальших розрахунках кінематичних характеристик передачі, зокрема частоти обертання, окружної швидкості та крутного моменту.

Для визначення кінематичних параметрів роботи приводу необхідно розрахувати кутову швидкість обертання шестерні. Кутова швидкість визначається через частоту обертання за наступною залежністю:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{3.12}$$

де: ω – кутова швидкість, рад/с;

n – частота обертання шестерні, об/хв;

2π – кут повного оберту, рад;

60 – коефіцієнт переходу від хвилин до секунд.

Підставляючи значення частоти обертання шестерні n=71,6 об/хв, отримаємо:

$$\omega = \frac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 71{,}6}{60} = 7{,}49 \text{ рад/с}$$

Отримане значення кутової швидкості використовується при визначенні потужності приводу, а також при розрахунку динамічних навантажень у зубчастій передачі.

Для визначення режиму роботи приводу переміщення каретки необхідно розрахувати частоту обертання шестерні, яка забезпечує задану лінійну швидкість руху. Частота обертання визначається із співвідношення між лінійною швидкістю та коловою швидкістю на ділильному колі шестерні:

$$n = \frac{60 \cdot v}{\pi \cdot d} \qquad (3.13)$$

де: n – частота обертання шестерні, об/хв;

v=0,15 м/с – лінійна швидкість переміщення каретки;

d=0,04 м – діаметр шестерні;

π=3,14.

Підставляючи числові значення у формулу (3.13), отримаємо:

$$n = \frac{60 \cdot 0{,}15}{3{,}14 \cdot 0{,}04} = 71{,}6 \text{ об/хв}$$

Отримане значення частоти обертання шестерні визначає необхідний режим роботи приводу та використовується при подальшому розрахунку передаточного числа редуктора і виборі електродвигуна.

Крутний момент на шестерні

Крутний момент, що діє на шестерню, визначається як добуток розрахункового зусилля на радіус ділильного кола шестерні:

$$M = F \cdot \frac{d}{2} \tag{3.14}$$

де: М – крутний момент на шестерні, Н·м;

F=401,4 Н – розрахункове зусилля;

d=0,04 м – діаметр шестерні.

Підставляючи числові значення у формулу (3.14), отримаємо:

$$M = 401{,}4 \cdot 0{,}02 = 8{,}0 \text{ Н·м}$$

Отриманий крутний момент визначає навантаження на зубчасту передачу та використовується при подальшому підборі приводу.

Крутний момент двигуна.

Крутний момент на валу електродвигуна визначається за залежністю:

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot P}{n_{\text{дв}}} \tag{3.15}$$

де: $M_{\text{дв}}$ – крутний момент двигуна, Н·м;

P=0,12 кВт – потужність двигуна;

$n_{\text{дв}}$=1500 об/хв – частота обертання двигуна.

$$M_{\text{дв}} = \frac{9550 \cdot 0{,}12}{1500} = 0{,}76 \text{ Н·м}$$

Отримане значення характеризує момент, який може розвивати електродвигун без урахування редуктора.

Передаточне число редуктора

Передаточне число визначається як відношення частоти обертання двигуна до частоти обертання шестерні:

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n} \tag{3.16}$$

Де $n_{\text{дв}}$=1500 об/хв – частота обертання двигуна;

n=71,6 об/хв – частота обертання шестерні.

$$i = \frac{1500}{71{,}6} \approx 21$$

Отримане значення передаточного числа відповідає типовим значенням для мотор-редукторів і забезпечує необхідний режим роботи приводу.

Вихідний крутний момент

Вихідний момент після редуктора визначається з урахуванням передаточного числа та коефіцієнта корисної дії:

$$M_{\text{вих}} = M_{\text{дв}} \cdot i \cdot \eta \tag{3.17}$$

де: η=0,75 – ККД передачі.

$$M_{\text{вих}} = 0{,}76 \cdot 21 \cdot 0{,}75 = 12{,}0 \text{ Н·м}$$

Отримане значення вихідного моменту перевищує необхідний момент на шестерні, що підтверджує правильність вибору приводу та наявність запасу по навантаженню.

Робота переміщення

Робота, що виконується під час переміщення напрямної рейки, визначається як добуток розрахункового зусилля на переміщення:

$$A = F \cdot S \tag{3.18}$$

де: А – робота, Дж;

F=401,4 Н – розрахункове зусилля;

S=1,9 м – довжина переміщення.

Підставляючи числові значення у формулу (3.18), отримаємо:

$$A = 401{,}4 \cdot 1{,}9 = 802{,}8 \text{ Дж}$$

Час переміщення

Час переміщення каретки визначається як відношення пройденого шляху до швидкості руху:

$$t = \frac{S}{v} \tag{3.19}$$

Де v=0,15 м/с – швидкість переміщення.

$$t = \frac{1{,}9}{0{,}15} = 13{,}3 \text{ с}$$

Кількість циклів

Кількість робочих циклів за годину визначається як:

$$N = \frac{3600}{t} \tag{3.20}$$

$$N = \frac{3600}{13{,}3} = 270$$

Отримане значення характеризує продуктивність механізму за одиницю часу.

Продуктивність переміщення визначається як відношення довжини рейки до часу переміщення:

$$Q = \frac{l}{t} = \frac{1{,}9}{13{,}3} = 0{,}15 \text{ м/с} \tag{3.21}$$

де: l=1,9 м – довжина рейки.

Кінетична енергія рухомої рейки визначається за формулою:

$$E = \frac{m \cdot v^2}{2} \tag{3.22}$$

де: m=22,4 кг – маса рейки.

$$E = \frac{22{,}4 \cdot 0{,}15^2}{2} = 0{,}25 \text{ Дж}$$

Прискорення руху визначається як відношення швидкості до часу розгону:

$$a = \frac{v}{t} \tag{3.23}$$

$$a = \frac{0{,}15}{13{,}3} = 0{,}011 \text{ м/с}^2$$

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що розрахункове зусилля переміщення становить близько 400 Н, а необхідна потужність приводу знаходиться в межах 100–120 Вт. Використання зубчастої рейки та шестерні забезпечує стабільне переміщення каретки без люфтів і дозволяє досягти точності позиціонування на рівні 1–3 мм.

Отримані значення роботи, часу переміщення та продуктивності підтверджують ефективність роботи механізму та його відповідність вимогам технологічного процесу. Таким чином, запропонована конструкція є працездатною та доцільною для використання в системах мостового землеробства.

Для оцінки працездатності зубчастої передачі виконується перевірка на контактну міцність зубів [25, 26]. Контактні напруження визначаються за залежністю:

$$\sigma_H = Z_H \cdot \sqrt{\frac{F_t}{b \cdot d}} \tag{3.24}$$

де: σ_H – контактні напруження, МПа;

Z_H – коефіцієнт, що враховує геометрію зачеплення (приймається за довідковими даними);

F_t=401,4 Н – колова сила;

b=20 мм – ширина зуба;

d=40 мм– діаметр шестерні.

Отримані значення контактних напружень не перевищують допустимих для обраного матеріалу, що свідчить про забезпечення необхідної міцності зубчастої передачі.

Загальний коефіцієнт корисної дії механізму визначається як добуток ККД окремих складових:

$$\eta = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \quad (3.25)$$

де: η_1=0,9 – ККД редуктора;

η_2=0,95 – ККД підшипників;

η3=0,85 – ККД зубчастої передачі.

$$\eta = 0{,}9 \cdot 0{,}95 \cdot 0{,}85 = 0{,}73$$

Отримане значення використовується при визначенні потужності приводу.

Розрахунок споживання енергії за цикл

Енергія, що витрачається за один робочий цикл, визначається як:

$$E = P \cdot t \quad (3.26)$$

де: P=100 Вт – потужність приводу;

t=13,3 с – час переміщення.

$$E = 100 \cdot 13{,}3 = 1330 \text{Дж}$$

Розрахунок точності позиціонування

Точність позиціонування каретки визначається через крок переміщення:

$$\Delta = \frac{p}{z} \tag{3.27}$$

де: p – крок зубчастої рейки;

z – кількість імпульсів енкодера.

Отримані значення забезпечують точність позиціонування у межах 1–3 мм, що відповідає вимогам технологічного процесу.

Розрахунок навантаження на підшипники модуля

Навантаження на один опорний елемент визначається як:

$$F_{\text{підш}} = \frac{F}{n} \tag{3.28}$$

де: F=401,4 Н – загальне навантаження;

n=4 – кількість роликів.

$$F_{\text{підш}} = \frac{401{,}4}{4} = 100{,}3 \text{ Н}$$

Розрахунок коефіцієнта запасу

Коефіцієнт запасу визначається як відношення фактичного моменту до розрахункового:

$$n = \frac{M_{\text{вих}}}{M_{\text{розр}}} \tag{3.29}$$

де: $M_{вих}$=12 Н·м – вихідний момент;

$M_{\text{розр}} = 8 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – розрахунковий момент.

$$n = \frac{12}{8} = 1{,}5$$

У результаті виконаних розрахунків встановлено, що розрахункове зусилля переміщення становить близько 400 Н, а необхідна потужність приводу знаходиться в межах 100–120 Вт. Використання зубчастої рейки та шестерні забезпечує стабільне переміщення каретки без люфтів і дозволяє досягти точності позиціонування на рівні 1–3 мм.

Отримані значення роботи, часу переміщення та продуктивності підтверджують ефективність роботи механізму та його відповідність вимогам технологічного процесу. Таким чином, запропонована конструкція є працездатною та доцільною для використання в системах мостового землеробства.

Проведені додаткові розрахунки підтверджують, що всі основні елементи механізму працюють у допустимих межах навантажень. Зубчаста передача має достатній запас міцності, привід забезпечує необхідну потужність, а конструкція каретки гарантує рівномірний розподіл навантажень між опорними елементами.

Отримані результати свідчать про надійність та ефективність запропонованої конструкції механізму вкладання напрямних рейок.

3.4. Вибір основних складових механізму вкладання напрямних рейок

На основі проведених розрахунків, наведених у пункті 3.3, виконано обґрунтований вибір основних конструктивних елементів механізму вкладання напрямних рейок. Підбір складових здійснювався з урахуванням отриманих значень навантажень, потужності приводів, вимог до точності позиціонування та умов експлуатації.

Для забезпечення переміщення каретки обрано електромеханічний привід у вигляді мотор-редуктора. Враховуючи необхідну потужність на рівні 100–120 Вт та передаточне число 20–25, доцільним є використання мотор-редукторів серії SEW-EURODRIVE R17 DRN63M4 або аналогічних за

характеристиками моделей виробництва Motovario NMRV 030 з електродвигуном потужністю 0,12–0,18 кВт. Дані приводи забезпечують необхідний крутний момент і стабільну роботу в умовах змінного навантаження.

Передача руху від приводу до каретки реалізується за допомогою зубчастої передачі типу «рейка–шестерня». Для цього можуть бути використані стандартні модулі виробництва HIWIN або Bosch Rexroth, зокрема рейки серії Bosch Rexroth Module 2 Rack. Використання таких елементів забезпечує високу точність переміщення, жорсткість конструкції та довговічність роботи.

Напрямна система механізму виконана у вигляді сталевої профільної балки прямокутного перерізу 80×60 мм, по якій переміщується каретка. Для зменшення втрат на тертя та підвищення точності доцільно застосовувати лінійні направляючі, наприклад HIWIN HG Series або їх аналоги.

Для здійснення підйому напрямної секції обрано лінійний електропривід (актуатор). З урахуванням необхідного зусилля 500–1000 Н та ходу 600 мм доцільним є застосування актуаторів типу Firgelli Automations FA-400-S-12-6 або аналогічних моделей виробництва LINAK LA36, які забезпечують стабільне переміщення та мають вбудовані системи захисту.

Захоплюючий пристрій може бути реалізований на базі електромеханічних або пневматичних захватів, наприклад серії SCHUNK PGN-plus, що забезпечують силу затиску до 3000 Н і характеризуються високою надійністю.

Керування механізмом здійснюється за допомогою програмованого логічного контролера. Доцільним є використання контролерів типу Siemens S7-1200 або компактних рішень Siemens LOGO!, що дозволяють реалізувати алгоритм роботи та забезпечити взаємодію з датчиками і приводами.

Для сенсорної підсистеми застосовуються кінцеві вимикачі, енкодери та оптичні або лазерні датчики, наприклад рішення виробництва Omron або SICK, що забезпечують точність позиціонування у межах 1–3 мм.

Таким чином, використання серійних промислових компонентів дозволяє забезпечити надійну роботу механізму, спростити його виготовлення та підвищити експлуатаційну ефективність. Основні складові механізму та їх технічні характеристики наведені в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Основні складові механізму та їх параметри

№	Елемент	Тип	Приклад моделі	Основні параметри
1	Привід переміщення	мотор-редуктор	SEW R17 / Motovario NMRV 030	0,12–0,18 кВт
2	Передача	рейка–шестерня	Bosch Rexroth	m = 2
3	Напрямна	лінійна	HIWIN HG Series	висока точність
4	Привід підйому	лінійний актуатор	LINAK LA36 / Firgelli	500–1000 Н
5	Захват	двогубковий	SCHUNK PGN-plus	до 3000 Н
6	Контролер	PLC	Siemens S7-1200	автоматичне керування
7	Датчики	комбіновані	Omron / SICK	1–3 мм

3.5. Висновки

У результаті виконаного конструктивного та розрахункового обґрунтування розроблено ефективну схему механізму вкладання напрямних рейок, що відповідає вимогам мостової технології землеробства. Запропонована конструкція базується на використанні лінійного переміщення каретки по зубчастій рейці, що дозволило підвищити точність позиціонування та спростити конструкцію.

Розрахунками встановлено, що для переміщення напрямної рейки довжиною 1,9 м і масою 22,4 кг необхідне зусилля становить близько 400 Н, а потужність приводу – 100–120 Вт. Це дає можливість застосування компактних електромеханічних мотор-редукторів. Обґрунтовано використання зубчастої передачі з модулем 2 мм, що забезпечує достатню міцність і надійність роботи.

Аналіз кінематичних параметрів показав, що при швидкості переміщення 0,15 м/с час одного циклу становить близько 13,3 с, що забезпечує продуктивність до 270 циклів за годину. Проведені перевірки підтвердили працездатність конструкції та наявність необхідного запасу міцності.

Застосування координатного принципу переміщення дозволяє забезпечити точність позиціонування напрямних рейок у межах 1–3 мм, що є важливим для стабільної роботи агромостової машини.

Таким чином, розроблений механізм є технічно обґрунтованим, енергоефективним і придатним для практичного впровадження.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз умов праці при монтажі напрямних рейок

Монтаж напрямних рейок для забезпечення роботи агромостової машини є відповідальним технологічним процесом, який виконується у польових умовах і супроводжується впливом комплексу виробничих факторів. Особливістю даного процесу є необхідність точного встановлення елементів напрямної інфраструктури при обмежених можливостях використання стаціонарного обладнання [27].

Роботи з монтажу рейок виконуються на відкритому просторі, що обумовлює залежність умов праці від кліматичних чинників, зокрема температури повітря, швидкості вітру, рівня вологості та стану ґрунтового покриву. При цьому можливі як підвищені температури в літній період, що призводять до перегріву працівників, так і знижені температури в осінньо-весняний період, що негативно впливають на працездатність.

Монтаж напрямних рейок пов’язаний із переміщенням та встановленням металевих елементів, маса яких може досягати понад 20 кг. Це створює значне фізичне навантаження на працівників, особливо при ручному виконанні операцій. Додатковим фактором є необхідність точного позиціонування рейок на опорних стовпчиках, що вимагає концентрації уваги та координації рухів.

Важливою особливістю умов праці є виконання робіт у зоні руху агромостової машини або її складових елементів. Це створює ризик травмування у разі порушення правил безпеки або недостатньої координації дій між оператором та обслуговуючим персоналом. Крім того, наявність рухомих механізмів, приводів та елементів передачі підвищує рівень небезпеки.

При використанні механізованих або автоматизованих засобів монтажу виникають додаткові фактори, пов’язані з електробезпекою, зокрема

можливість ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції або неправильного підключення обладнання. Також слід враховувати вплив шуму та вібрацій, що генеруються електроприводами та рухомими частинами механізму.

Аналіз умов праці показує, що процес монтажу напрямних рейок характеризується поєднанням фізичних, кліматичних та технічних факторів, які можуть негативно впливати на безпеку та ефективність роботи. Це обумовлює необхідність впровадження технічних рішень, спрямованих на механізацію та автоматизацію процесу вкладання рейок, що дозволяє зменшити фізичне навантаження, підвищити точність виконання операцій та забезпечити більш безпечні умови праці.

4.2. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Процес монтажу напрямних рейок для забезпечення роботи агромостової машини супроводжується дією ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які можуть впливати на стан здоров’я працівників та безпеку виконання робіт. Їх наявність обумовлена як специфікою технологічного процесу, так і умовами виконання робіт у відкритому середовищі.

До небезпечних факторів, насамперед, належать рухомі частини механізмів, зокрема каретка, приводи переміщення та елементи передачі. У разі порушення правил експлуатації або відсутності належного контролю існує ризик затягування одягу, защемлення кінцівок або травмування працівника [28]. Також небезпеку становить переміщення агромостової машини по напрямних рейках, особливо при виконанні робіт у зоні її руху.

Значну небезпеку становлять роботи, пов’язані з підйомом та переміщенням металевих рейок. Падіння або неконтрольоване зміщення

напрямної секції може призвести до механічних травм. Крім того, гострі кромки металевих елементів можуть спричиняти порізи при ручному контакті.

Таблиця 4.1 – Небезпечні та шкідливі виробничі фактори

№	Фактор	Джерело виникнення	Можливі наслідки
1	Рухомі частини механізмів	каретка, приводи, передача	травмування, защемлення
2	Переміщення агромоста	рух по рейках	наїзд, механічні травми
3	Падіння рейки	підйом і встановлення	удари, переломи
4	Гострі кромки металу	напрямні рейки	порізи
5	Фізичне навантаження	ручні роботи	перевтома
6	Кліматичні умови	вітер, температура	перегрів, переохолодження
7	Електричний струм	електроприводи	ураження струмом
8	Шум і вібрація	робота механізмів	зниження працездатності

До шкідливих факторів належать підвищене фізичне навантаження, яке виникає при ручному виконанні монтажних операцій, а також вплив несприятливих метеорологічних умов – підвищеної або зниженої температури, вітру та опадів [29]. Тривала робота в таких умовах може призводити до перевтоми, зниження концентрації уваги та підвищення ймовірності виникнення аварійних ситуацій.

При використанні електроприводів і систем керування додатково виникає фактор електричної небезпеки, пов’язаний із можливістю ураження

електричним струмом. Також робота обладнання супроводжується шумом і вібраціями, які при тривалому впливі можуть негативно впливати на організм людини.

Для систематизації небезпечних і шкідливих факторів їх доцільно представити у вигляді таблиці.

4.3. Заходи з охорони праці при експлуатації механізму

З метою забезпечення безпечних умов праці при експлуатації механізму вкладання напрямних рейок необхідно реалізувати комплекс організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, які охоплюють усі етапи виконання робіт: підготовчий, робочий та завершальний.

Організаційні заходи

Організаційні заходи є основою забезпечення безпеки праці та передбачають правильну організацію трудового процесу. До них належить проведення вступного, первинного та повторного інструктажів з охорони праці для персоналу, а також періодичне навчання та перевірка знань працівників.

До виконання робіт допускаються лише особи, які пройшли відповідну підготовку, ознайомлені з конструкцією механізму та принципом його роботи, а також пройшли медичний огляд. Роботи повинні виконуватись відповідно до затверджених інструкцій і технологічних карт.

Важливим організаційним заходом є чітке розмежування зон відповідальності між оператором механізму та допоміжним персоналом. Робоча зона повинна бути позначена попереджувальними знаками, а доступ сторонніх осіб до неї – обмежений.

Також необхідно забезпечити контроль за дотриманням режимів праці та відпочинку, особливо при виконанні робіт у складних кліматичних умовах.

Заходи перед початком роботи

Перед початком експлуатації механізму проводиться перевірка його технічного стану. Контролю підлягають електроприводи, вузли передачі, з’єднання та захисні елементи. Не допускається робота при наявності несправностей.

Оператор перевіряє систему керування, роботу кінцевих вимикачів, датчиків положення та аварійної зупинки. Перед запуском необхідно впевнитися у відсутності людей у зоні роботи.

Персонал повинен використовувати засоби індивідуального захисту, а робоча зона – бути підготовленою та очищеною.

Заходи під час виконання роботи

Під час роботи механізму необхідно дотримуватись встановленого алгоритму та контролювати його технічний стан. Забороняється виконання будь-яких втручань у роботу механізму під час його руху.

Не допускається перебування працівників у зоні переміщення каретки та під піднятою рейкою. У разі виникнення несправностей механізм необхідно негайно зупинити.

Роботи слід припиняти при несприятливих погодних умовах, що можуть вплинути на безпеку виконання операцій.

Заходи після завершення роботи

Після завершення роботи механізм вимикається, а його рухомі елементи фіксуються. Проводиться огляд обладнання та оцінка його технічного стану.

Робоча зона очищується, а встановлені напрямні рейки перевіряються на правильність положення та надійність закріплення. У разі виявлення несправностей механізм не допускається до подальшої експлуатації.

Комплексне впровадження організаційних, технічних і санітарно-гігієнічних заходів дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію механізму, знизити ризик травмування та підвищити ефективність виконання робіт.

4.4. Екологічна безпека та вплив на навколишнє середовище

Застосування механізму вкладання напрямних рейок у складі агромостової машини має як позитивний, так і потенційно негативний вплив на навколишнє середовище, що потребує комплексної оцінки та впровадження відповідних заходів екологічної безпеки.

Однією з основних переваг використання мостової технології є мінімізація ущільнення ґрунту, оскільки переміщення машини здійснюється по напрямних рейках, а не безпосередньо по полю. Це сприяє збереженню структури ґрунту, покращенню його водопроникності, аерації та створює сприятливі умови для розвитку кореневої системи рослин. Відсутність багаторазового проходу колісної техніки зменшує деградацію ґрунтового покриву та знижує енергетичні витрати на подальший обробіток.

Використання електромеханічних приводів у механізмі вкладання напрямних рейок дозволяє знизити рівень викидів шкідливих речовин у порівнянні з традиційною технікою, що працює на двигунах внутрішнього згоряння. Це сприяє зменшенню забруднення атмосферного повітря та покращенню екологічної ситуації в зоні виконання робіт.

Разом з тим, експлуатація механізму супроводжується певними негативними факторами. До них належать утворення шуму та вібрацій під час роботи приводів і рухомих частин, що може впливати на навколишнє середовище та організми. Крім того, при виготовленні та монтажі напрямних рейок використовуються металеві конструкції, що потребує значних матеріальних ресурсів.

Потенційним джерелом забруднення може бути неправильна експлуатація або технічне обслуговування механізму, зокрема витік мастильних матеріалів або пошкодження електрообладнання. Це вимагає

контролю за технічним станом обладнання та дотримання регламентів обслуговування.

З метою зниження негативного впливу на навколишнє середовище необхідно впроваджувати такі заходи: використання енергоефективних електроприводів, своєчасне технічне обслуговування механізму, застосування екологічно безпечних мастильних матеріалів, а також раціональне використання матеріалів при виготовленні конструкцій.

Таким чином, впровадження механізму вкладання напрямних рейок у складі агромостової машини сприяє підвищенню екологічної ефективності сільськогосподарського виробництва, зменшенню антропогенного навантаження на ґрунт і атмосферу. При дотриманні відповідних заходів екологічної безпеки негативний вплив на навколишнє середовище може бути зведений до мінімального рівня.

4.5. Висновки

У результаті аналізу встановлено, що монтаж і експлуатація механізму вкладання напрямних рейок супроводжуються впливом небезпечних і шкідливих факторів, серед яких основними є рухомі частини механізму, підйом і переміщення рейок, електрична небезпека та кліматичні умови.

Застосування механізації та автоматизації процесу дозволяє зменшити фізичне навантаження на працівників і знизити ризик травмування.

Аналіз екологічних аспектів показав, що використання мостової технології сприяє зменшенню негативного впливу на ґрунт і довкілля. При дотриманні відповідних заходів безпеки вплив на навколишнє середовище є мінімальним.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення

Економічне обґрунтування ефективності впровадження механізму вкладання напрямних рейок виконується шляхом порівняння двох варіантів організації агромостової системи: базового та проектного [30]. Такий підхід дозволяє оцінити доцільність застосування розробленого технічного рішення з точки зору капітальних вкладень, експлуатаційних витрат і загальної економічної ефективності.

У якості базового варіанту прийнято агромостову систему з постійними напрямними рейками, які укладаються по всій довжині поля. Дана схема характеризується високою точністю руху та стабільністю роботи, однак потребує значних матеріальних і фінансових витрат, пов’язаних із виготовленням, транспортуванням та монтажем великої кількості металевих елементів. Основним недоліком такого підходу є значна металоємність конструкції, що безпосередньо впливає на рівень капітальних вкладень.

Проектний варіант передбачає використання дискретних напрямних рейок довжиною 2 м, які послідовно встановлюються на заздалегідь змонтовані опорні стовпчики з кроком 2 м. Укладання рейок здійснюється за допомогою спеціально розробленого механізму, розташованого з обох боків агромоста, що дозволяє забезпечити безперервність технологічного процесу та високу точність позиціонування. Така схема дає можливість суттєво зменшити загальну довжину використовуваних рейок, а отже, і витрати металу, що є ключовим фактором економії.

Крім зниження капітальних витрат, застосування дискретних рейок дозволяє підвищити гнучкість системи, спростити транспортування елементів інфраструктури та зменшити трудомісткість монтажних робіт. Водночас проектний варіант потребує додаткових витрат на створення та експлуатацію

механізму вкладання рейок, а також на облаштування опорної системи у вигляді стовпчиків.

Таким чином, економічна доцільність впровадження розробленого механізму визначається співвідношенням зменшення витрат на створення напрямної інфраструктури та додаткових витрат, пов’язаних із ускладненням конструкції агромостової системи. Проведення порівняльного аналізу дозволяє обґрунтувати ефективність проектного рішення та визначити його переваги в умовах практичного застосування.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

№	Показник	Одиниця	Значення
1	Площа обробітку	га	30
2	Ширина агромоста	м	18
3	Довжина рейки	м	2
4	Маса рейки	кг/м	11,2
5	Крок стовпчиків	м	2
6	Вартість металу	грн/кг	60
7	Вартість стовпчика	грн	200
8	Вартість механізму	грн	57 860
9	Кількість механізмів	шт	2
10	Потужність приводу	кВт	0,22
11	Вартість електроенергії	грн/кВт·год	6
12	Продуктивність	га/год	0,2
13	Термін служби	років	10

5.2. Розрахунок витрат на інфраструктуру та порівняння варіантів

Базовий варіант (постійні напрямні рейки)

У базовому варіанті передбачається створення стаціонарної рейкової інфраструктури по всій площі поля. Це означає, що напрямні рейки укладаються вздовж кожного технологічного проходу агромоста та залишаються нерухомими протягом усього періоду експлуатації.

Для визначення загальної довжини рейкової інфраструктури необхідно встановити кількість проходів агромоста по ширині поля. При ширині поля 300 м та ширині агромоста 18 м кількість проходів визначається за формулою:

$$n = \frac{B}{b} \tag{5.1}$$

де n – кількість проходів агромоста, шт;

B=300м – ширина поля;

b=18 м – ширина захвату агромоста (відстань між напрямними рейками).

Підставляючи числові значення у формулу (5.1), отримаємо:

$$n = \frac{300}{18} \approx 17$$

Отримане значення означає, що для повного покриття площі необхідно організувати 17 паралельних технологічних смуг руху.

Оскільки довжина поля становить 1000 м, а агроміст рухається по двох напрямних рейках, загальна довжина рейкової інфраструктури визначається як:

$$L = n \cdot 1000 \cdot 1{,}9 = 17 \cdot 1000 \cdot 1{,}9 = 34\,000 \text{ м} \tag{5.2}$$

Маса напрямних рейок визначається як добуток їх загальної довжини на лінійну масу одного метра рейки:

$$M = L \cdot m_0 \quad (5.3)$$

де: М – загальна маса рейок, кг;

L=34 000 м – сумарна довжина напрямних рейок;

m_0=11,2 кг/м – лінійна маса рейки.

Підставляючи числові значення у формулу (5.3), отримаємо:

$$M = 34000 \cdot 11{,}2 = 380800\text{кг}$$

Отримане значення характеризує загальну масу металу, необхідного для створення напрямної інфраструктури у базовому варіанті, і є одним із визначальних параметрів при розрахунку капітальних витрат.

Вартість інфраструктури:

$$K_б = M \cdot Cм \quad (5.4)$$

де $K_б$ – вартість інфраструктури базового варіанту, грн;

M=380 800 кг – загальна маса рейок;

$C_м$=60 грн/кг – вартість одного кілограма металу.

Підставляючи числові значення у формулу (5.4), отримаємо:

$$K_б = M = 380\,800 \cdot 60 = 22\,848\,000 \text{ грн}$$

Таким чином, базовий варіант характеризується значними капітальними витратами, що обумовлено необхідністю використання великої кількості металу для створення постійних напрямних колій.

Проектний варіант (дискретні напрямні рейки)

У проектному варіанті замість суцільних рейкових колій застосовується принцип дискретного вкладання напрямних рейок довжиною 1,9 м. Рейки послідовно встановлюються на опорні стовпчики, що дозволяє використовувати обмежену їх кількість у процесі роботи. У проектному варіанті для забезпечення безперервного переміщення агромоста використовується обмежена кількість напрямних рейок, які послідовно переставляються механізмом вкладання. Одночасно в роботі знаходяться чотири рейки: дві встановлені перед агромостом та дві – позаду, що забезпечує його стійкість і можливість подальшого переміщення.

Загальна довжина рейок, які одночасно використовуються, становить:

$$L=8м$$

Маса рейок визначається як добуток їх довжини на лінійну масу одного метра:

$$M=L\cdot m_0 \tag{5.5}$$

де M – маса рейок, кг;

L=8м – сумарна довжина рейок;

m_0=11,2 кг/м – лінійна маса рейки.

Тоді:

$$M=8\cdot 11,2=89,6\ кг$$

Вартість рейок визначається за формулою:

$$K=M\cdot C_м \tag{5.6}$$

де K – вартість рейок, грн;

$C_м$=60 грн/кг – вартість металу.

$$K=89,6\cdot 60=5\ 376\ грн$$

Отримане значення показує, що у проектному варіанті витрати на напрямні рейки є незначними, оскільки використовується мінімальна їх кількість. Це є однією з основних причин зниження загальної вартості інфраструктури порівняно з базовим варіантом.

Опорна інфраструктура (стовпчики)

У проектному варіанті напрямні рейки встановлюються на спеціальні опорні стовпчики, які розміщуються вздовж кожного технологічного проходу агромоста. Така система забезпечує необхідну жорсткість та точність позиціонування рейок, а також дозволяє реалізувати принцип їх дискретного вкладання.

Стовпчики встановлюються з кроком 1,9 м, що відповідає довжині однієї напрямної рейки. Це забезпечує надійну опору для кожної секції рейки та рівномірний розподіл навантаження.

Загальна довжина всіх технологічних проходів визначається як:

$$L = n \cdot l \tag{5.7}$$

де: L – сумарна довжина проходів, м;

n=17 – кількість проходів;

l=1000 м – довжина поля.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$L = 17 \cdot 1000 = 17\,000\ м$$

Кількість опорних стовпчиків визначається як відношення загальної довжини проходів до кроку їх встановлення:

$$N = \frac{L}{a} \tag{5.8}$$

де N – кількість стовпчиків, шт;

a=2м – крок встановлення.

$$N = \frac{17\,000}{2} = 8\,500 \text{ шт}$$

Вартість опорної інфраструктури визначається як:

$$K = N \cdot C \tag{5.9}$$

де: K – загальна вартість стовпчиків, грн;

C=400 грн – вартість одного стовпчика з виготовленням та монтажем.

$$K=8\,500 \cdot 400=3\,400\,000 \text{ грн}$$

Отримане значення свідчить, що опорна інфраструктура становить основну частину витрат у проектному варіанті. Проте навіть з урахуванням цих витрат загальна вартість системи залишається значно меншою порівняно з базовим варіантом, що обумовлено різким зменшенням металоємності напрямних рейок. У проектному варіанті для забезпечення безперервного процесу переміщення агромоста передбачається використання спеціальних механізмів вкладання напрямних рейок. Дані механізми встановлюються з обох боків ферми агромоста, що дозволяє одночасно виконувати укладання рейок зліва і справа та забезпечує симетричність роботи системи.

Застосування двох механізмів обумовлене конструктивними особливостями агромоста та необхідністю забезпечення його стійкого руху по двох напрямних коліях. Це також підвищує продуктивність процесу та дозволяє виконувати укладання рейок без зупинки технологічного циклу.

Загальна вартість механізмів визначається як:

$$K=n \cdot C_{мех} \tag{5.10}$$

де K – загальна вартість механізмів, грн;

n=2 – кількість механізмів;

Смех=57 860 грн – вартість одного механізму.

Підставляючи значення, отримаємо:

$$K=57\,860\cdot 2=115\,720 \text{ грн}$$

Загальна вартість проектного рішення визначається як сума витрат на рейки, опорну інфраструктуру та механізми вкладання:

$$K_{пр}=K_{ст}+K_{р}+K_{мех} \quad (5.11)$$

де: $K_{пр}$ – загальна вартість проектного варіанту, грн;

$K_{ст}$ – вартість опорних стовпчиків;

$K_{р}$– вартість рейок;

$K_{мех}$ – вартість механізмів.

Підставляючи отримані значення:

$$K_{пр}=3\,400\,000+5\,376+115\,720=3\,521\,096 \text{ грн}$$

Отримане значення відображає повну вартість створення напрямної інфраструктури та системи вкладання рейок у проектному варіанті з урахуванням витрат на виготовлення та монтаж опорних елементів.

Незважаючи на додаткові витрати, пов’язані з використанням механізмів вкладання та облаштуванням опорної системи, загальна вартість проектного рішення залишається значно нижчою порівняно з базовим варіантом за рахунок суттєвого зменшення металоємності напрямних рейок.

5.3. Розрахунок економічної ефективності проекту

Для оцінки доцільності впровадження механізму вкладання напрямних рейок виконується розрахунок річної економічної ефективності, яка визначається як різниця між річними витратами базового та проектного варіантів.

Річна економічна ефективність розраховується за формулою:

$$Еріч=Сб-Спр \quad (5.12)$$

де Сб – річні витрати базового варіанту, грн/рік;

Спр – річні витрати проектного варіанту, грн/рік.

Річні експлуатаційні витрати базового варіанту

Річні витрати базового варіанту визначаються як сума ремонтно-амортизаційних витрат та витрат на електроенергію:

$$Сб=Са.б+Се.б \quad (5.13)$$

де Са.б=2 284 800 грн/рік – амортизація напрямних рейок;

Се.б=108 грн/рік – витрати на електроенергію.

$$Сб=2\ 284\ 800+108=2\ 284\ 908 \text{ грн/рік}$$

Річні витрати проектного варіанту

Річні витрати проектного варіанту визначаються аналогічно:

$$Спр=Са.пр+Се.пр \quad (5.14)$$

де Са.пр=352 110 грн/рік – амортизація інфраструктури;

Се.пр=198 грн/рік – витрати на електроенергію.

$$Спр=352110+198=352308 \text{грн/рік}$$

Тоді :

$$Еріч=2\ 284\ 908-352\ 308=1\ 932\ 600 \text{ грн/рік}$$

Отримане значення річної економічної ефективності свідчить про значну перевагу проектного варіанту над базовим. Основний економічний ефект досягається за рахунок зменшення амортизаційних витрат, що обумовлено скороченням загальної маси та вартості напрямної інфраструктури.

Незважаючи на незначне збільшення витрат електроенергії у проектному варіанті, їх вплив на загальні витрати є мінімальним і не впливає суттєво на кінцевий результат.

Річна економічна ефективність впровадження механізму вкладання напрямних рейок становить близько 1,93 млн грн/рік, що підтверджує високу економічну доцільність застосування даного технічного рішення в системах мостового землеробства.

Строк окупності визначимо за формулою:

$$T=E_{річ}/K_{пр} \tag{5.15}$$

де: $K_{пр}$=3 521 096 грн – капітальні витрати проектного варіанту;

Еріч – річний економічний ефект.

$$T = \frac{3\,521\,096}{1\,932\,690} = 1{,}82 \text{ року}$$

Строк окупності проектного рішення становить приблизно 1,8 року, що свідчить про високу економічну ефективність впровадження механізму вкладання напрямних рейок. Незважаючи на додаткові витрати на створення опорної інфраструктури та механізмів, значне зменшення металоємності забезпечує швидке повернення вкладених коштів. Зведемо результати розрахунку в єдину таблицю для виконання аналізу.

Таблиця 5.2 – Узагальнений економічний аналіз варіантів

№	Показник	Базовий варіант	Проектний варіант	Відхилення, %
1	Вартість інфраструктури (рейки), грн	22 848 000	5 376	-99,98
2	Вартість опорної інфраструктури (стовпчики), грн	–	3 400 000	–
3	Вартість механізмів вкладання (2 шт), грн	–	115 720	–
4	Загальна вартість інфраструктури, грн	22 848 000	3 521 096	-84,6
5	Річні амортизаційні витрати, грн/рік	2 284 800	352 110	-84,6
6	Витрати електроенергії, грн/рік	108	198	+83,3
7	Загальні річні витрати, грн/рік	2 284 908	352 308	-84,6
8	Річна економія, грн/рік	1 932 600		
9	Капітальні вкладення проекту, грн	3 521 096		
10	Термін окупності, роки	1,82		

5.4. Висновки

Проведене економічне обґрунтування показало, що проектний варіант із дискретними напрямними рейками є значно ефективнішим за базовий. Основний ефект досягається за рахунок зменшення витрат на інфраструктуру (на 84,6%), що суттєво знижує капітальні вкладення. Додаткові витрати на стовпчики та механізми не впливають істотно на загальний результат. Річна економія становить 1,93 млн грн, а строк окупності – 1,82 року, що підтверджує доцільність впровадження розробленого рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему удосконалення мостової технології землеробства шляхом розробки механізму вкладання напрямних рейок вирішено комплекс інженерних і науково-практичних задач, спрямованих на підвищення ефективності агромостових систем.

Метою роботи було обґрунтування та розробка механізму вкладання дискретних напрямних рейок, який забезпечує зменшення металоємності інфраструктури та підвищення економічної ефективності технології.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій мостового землеробства та встановлено, що використання постійних рейкових колій супроводжується значною металоємністю, яка для площі 30 га може перевищувати 380 т металу.

У другому розділі обґрунтовано технологічну схему роботи агромостової машини та визначено основні параметри системи, зокрема ширину захвату 18 м, що дозволяє забезпечити обробіток площі з кількістю проходів близько 17.

У третьому розділі розроблено конструкцію механізму вкладання рейок та виконано його інженерні розрахунки. Встановлено, що зусилля переміщення становить близько 400 Н, а необхідна потужність приводу не перевищує 0,2–0,25 кВт, що підтверджує енергоефективність запропонованого рішення.

У четвертому розділі проведено аналіз умов праці та встановлено основні небезпечні фактори, пов’язані з переміщенням рейок і роботою механізму. Запропоновано комплекс заходів, що дозволяє знизити виробничі ризики та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

У п’ятому розділі виконано економічне обґрунтування. Встановлено, що вартість інфраструктури базового варіанту становить 22,85 млн грн, тоді як проектного – 3,52 млн грн, що забезпечує разову економію понад 19,3 млн грн. Річна економія експлуатаційних витрат становить близько 1,93 млн грн, а строк окупності – 1,82 року.

Таким чином, розроблений механізм вкладання напрямних рейок дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру більш ніж на 84%, підвищити ефективність використання агромостової системи та є економічно доцільним для впровадження у виробничих умовах.

ЛІТЕРАТУРА

1. Божко І. В., Кравчук В. І. Основи точного землеробства : навч. посіб. – Київ : НУБіП України, 2020. – 320 с.

2. Pedersen S. M., Lind K. M. Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. – Cham : Springer, 2017. – 282 p.

3. Sorensen C. G., Fountas S. Conceptual model of a future farm management information system. // Computers and Electronics in Agriculture. – 2010. – Vol. 72. – P. 37–47.

4. 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.

5. Bulgakov V., Adamchuk V., Ivanovs S. Research of agricultural machines interaction with soil. – Engineering for Rural Development. – 2020. – P. 120–128.

6. Kepner R., Bainer R., Barger E. Principles of Farm Machinery. – Westport : AVI Publishing, 2017. – 527 p.

7. Звіт господарської діяльності за 2023-2025 роки

8. Бойко В.Б., Денисенков О.В. (2025). Агроміст з автономним енергоживленням для мостової технології у точному землеробстві. Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка. Технічні науки, 4(49), І: 211–219. DOI: https://doi.org/10.37406/2706-9052-2025-4.32

9. Chamen T. Controlled Traffic Farming: From Research to Adoption in Australia. // Soil and Tillage Research. – 2015. – Vol. 153. – P. 2–12.

10. Pedersen S. M., Lind K. M. . Precision Agriculture: Technology and Economic Perspectives. – Cham : Springer, 2017. – 282 p.

11. Tullberg J. N., Yule D. F., McGarry D. Controlled traffic farming — From research to adoption in Australia. // Soil and Tillage Research. – 2007. – Vol. 97. – P. 272–281.

12. Kroulík M., Kumhála F., Hůla J., Honzík I.

The evaluation of agricultural machines field traffics intensity for different soil tillage technologies. // Soil and Tillage Research. – 2009. – Vol. 105. – P. 171–175.

13. Gassen D. N., Gassen F. R. Controlled traffic farming in South America. // Soil and Tillage Research. – 2002. – Vol. 61. – P. 181–192.

14. Tyler D. D. Soil compaction effects on crop production. // Advances in Soil Science. – New York : Springer, 1981. – Vol. 1. – P. 91–125.

15. Bakker T., van Asselt K., Bontsema J., Müller J., van Straten G. An autonomous weeding robot for organic farming. // Biosystems Engineering. – 2010. – Vol. 106. – P. 142–153.

16. Bechar A., Vigneault C. Agricultural robots for field operations: Concepts and components. // Biosystems Engineering. – 2016. – Vol. 149. – P. 94–111.

17. Кравчук В. І., Мельник І. І., Погорілий В. Д. Машини для точного землеробства : монографія. – Київ : ННЦ «ІМЕСГ», 2011. – 224 с.

18. Мельник І. І., Кравчук В. І. Сучасні технології та технічні засоби точного землеробства. // Вісник аграрної науки. – 2015. – № 10. – С. 45–49.

19. Кравчук В. І., Мельник І. І., Погорілий В. Д. Машини для точного землеробства : монографія. – Київ : ННЦ «ІМЕСГ» НААН України, 2011. – 224 с.

20. Esveld C. Modern Railway Track. – 2nd ed. – Delft : MRT-Productions, 2001. – 654 p.

21. Даніленко Е. І. Залізнична колія : підручник. – Київ : Транспорт України, 2010. – 296 с.

22. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. – 6th ed. – Harlow : Pearson, 2015. – 662 p.

23. Ковбаса В. П., Барановський В. М., Пастухов В. І. Теорія і розрахунок сільськогосподарських машин. – Київ : Аграрна освіта, 2010. – 336 с.

24. Budynas R. G., Nisbett J. K. Shigley’s Mechanical Engineering Design. – 10th ed. – New York : McGraw-Hill, 2015. – 1100 p.

25. Гуревич М. І. Деталі машин : підручник. – Київ : Вища школа, 2012. – 384 с.

26. Шиглій А. І., Бойко О. В. Опір матеріалів : підручник. – Київ : Центр учбової літератури, 2015. – 400 с.

27. ДСТУ 12.0.003-2015 Система стандартів безпеки праці. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Класифікація.–Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2015. – 12 с.

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

29. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці. – Львів: Афіша, 2006. – 336 с.

30. Методика визначення економічної ефективності використання в сільському господарстві нової техніки і технологій. – Київ: УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого, 2010. – 52 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Вихідні дані для розрахунку

№	Параметр	Позначення	Одиниця	Значення
1	Довжина напрямної рейки	l	м	1,9
2	Лінійна маса рейки	m_0	кг/м	11,2
3	Маса рейки	m	кг	22,4
4	Прискорення вільного падіння	g	м/с²	9,81
5	Швидкість переміщення каретки	v	м/с	0,15
6	Прискорення руху	a	м/с²	0,5
7	Коефіцієнт тертя	f	–	0,1
8	Густина повітря	ρ	кг/м³	1,225
9	Коефіцієнт аеродинамічного опору	C_d	–	1,2
10	Площа проекції рейки	S	м²	0,2
11	Швидкість вітру	v_e	м/с	10
12	Коефіцієнт запасу	k	–	1,5
13	ККД механічної системи	η	–	0,75
14	Коефіцієнт запасу потужності	k_p	–	1,3
15	Модуль зубчастої передачі	m_z	мм	2
16	Кількість зубів шестерні	z	–	20
17	Діаметр шестерні	d	мм	40
18	Частота обертання двигуна	$n_d v$	об/хв	1500
19	Передаточне число редуктора	i	–	

Додаток Б

Програма для роботи мехатронної системи вкладання рейок

```
// ------------------------
// ПІНИ (ПІДКЛЮЧЕННЯ)
// ------------------------
#define GRIPPER 2          // Захват
#define LIFT_UP 3          // Підйом
#define LIFT_DOWN 4        // Опускання
#define MOVE_FORWARD 5     // Рух вперед (по зубчастій рейці)
#define MOVE_BACK 6        // Рух назад

#define LIMIT_TOP 7        // Верхнє положення
#define LIMIT_BOTTOM 8     // Нижнє положення
#define LIMIT_FORWARD 9    // Переднє положення
#define LIMIT_HOME 10      // Початкове положення

#define START_BUTTON 11    // Кнопка запуску

bool startCycle = false;

// ------------------------
// ІНІЦІАЛІЗАЦІЯ
// ------------------------
void setup() {
  pinMode(GRIPPER, OUTPUT);
  pinMode(LIFT_UP, OUTPUT);
  pinMode(LIFT_DOWN, OUTPUT);
  pinMode(MOVE_FORWARD, OUTPUT);
```

```
  pinMode(MOVE_BACK, OUTPUT);
  pinMode(LIMIT_TOP, INPUT);
  pinMode(LIMIT_BOTTOM, INPUT);
  pinMode(LIMIT_FORWARD, INPUT);
  pinMode(LIMIT_HOME, INPUT);
  pinMode(START_BUTTON, INPUT);
  Serial.begin(9600);
}

// ------------------------
// ГОЛОВНИЙ ЦИКЛ
// ------------------------
void loop() {

  // Очікування команди запуску
  if (digitalRead(START_BUTTON) == HIGH) {
    startCycle = true;
  }

  // Якщо отримали сигнал – запускаємо цикл
  if (startCycle) {
    runCycle();
    startCycle = false;
  }
}

// ------------------------
// ОСНОВНИЙ АЛГОРИТМ
// ------------------------
```

```
void runCycle() {

  Serial.println("Start cycle");

  gripRail();       // 1. Захоплення рейки
  liftRail();       // 2. Підйом
  moveForwardRail();// 3. Переміщення вперед
  positionRail();   // 4. Позиціонування
  lowerRail();      // 5. Опускання
  releaseRail();    // 6. Відпуск
  returnBack();     // 7. Повернення

  Serial.println("Cycle complete");
}
```

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
				Документація		
А1			52.ДП.067200.000.ВЗ	Складальне креслення		
				Деталі		
		1		Нижня траверса	2	
		2		Захват	4	
		3		Мотор-колесо	4	
		4		Замок	1	
		5		Напрямна рейка	4	
		6		Підйомний ножичний механізм	2	
		7		Лінійний двигун	2	
		8		Електропривід переміщення	2	
		9		Шестерня	2	
		10		Рейка	2	
		11		Напрямна балка	2	
		12		Ролики	4	
		13		Верхня траверса	2	
		14		Ролики підйомного механізму	8	
		15		Бокові ролики	8	
		16		Кріплення роликів	8	
		17		Винт кріплення рейки	20	
		18		Рама опори	2	
		19		Опорний стовпчик		
		20		Гайка М10 ДСТУ ISO 4032	8	
		21		Шайба пружинна 10 ДСТУ 6402	8	
		22		Болт М10 ДСТУ ISO 4064	8	

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

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	52.ДП.067200.000.ВЗ		
Розроб.		Орищенко			Механізм для вкладання напрямних рейок	Літ.	Арк.	Аркушів
Перев.		Бойко						
Т. контр.						ДДАЕУ АІ-1-22		
Н. контр.		Золотоєська						
Зат.		Теслюк						

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітка
				Документація		
А3			52.ДП.067202.000.СК	Складальне креслення		
				Деталі		
А3		1	52.ДП.067202.001	Лапа захвата ліва	4	
А3		2	52.ДП.067202.002	Основа	4	
		3		Лапа захвата права	4	
		4		Лінійний двигун Ezgelli Mini		
				Actuator 128 хід 70 мм	4	
		5		Вісь 8 мм	8	
		6		Вісь 10 мм	8	

Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	52.ДП.067202.000.СК		
Розроб.		Орищенко			Захват	Літ.	Арк. / Аркушів
Перев.		Бойко					
Т. контр.						ДДАЕУ АІ-1-22	
Н. контр.		Золотовська					
Зат.		Теслюк					

Інв. № подл. | Підп. і дата | Взам. інв. № | Інв. № дубл. | Підп. і дата

ДЕМОНСТРАЦІЙНИЙ МАТЕРІАЛ

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

КАФЕДРА ТРАКТОРІВ І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ МАШИН

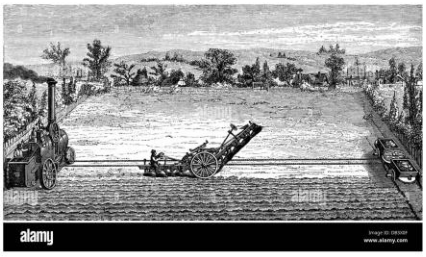
УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МОСТОВОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА ШЛЯХОМ РОЗРОБКИ МЕХАНІЗМУ ДЛЯ ВКЛАДАННЯ НАПРЯМНИХ РЕЙОК

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-1-22
Оришенко Антон Сергійович

Керівник: к.т.н., доцент
Бойко Владислав Борисович

ДНІПРО-2026

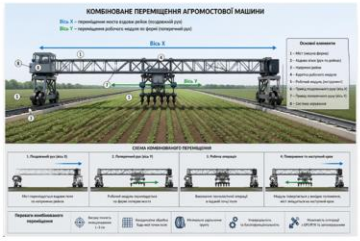
52.ДП.067.000.000А



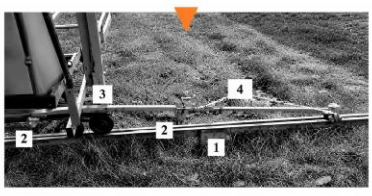
Канатно-тросовий спосіб переміщення



Використання рейкового способу переміщення агромоста



Комбінований спосіб переміщення агромоста



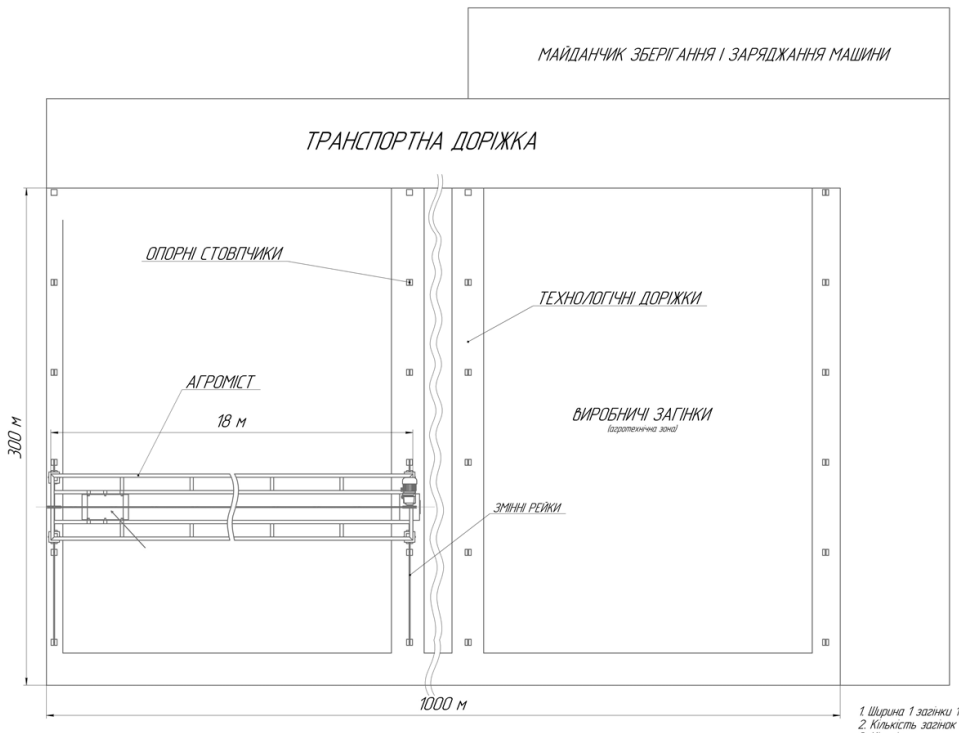
1 – опори; 2 – опорні рейки; 3 – підтримуючий візок; 4 – маніпулятор

Ручний спосіб переміщення напрямних рейок



Механізований спосіб переміщення рейок

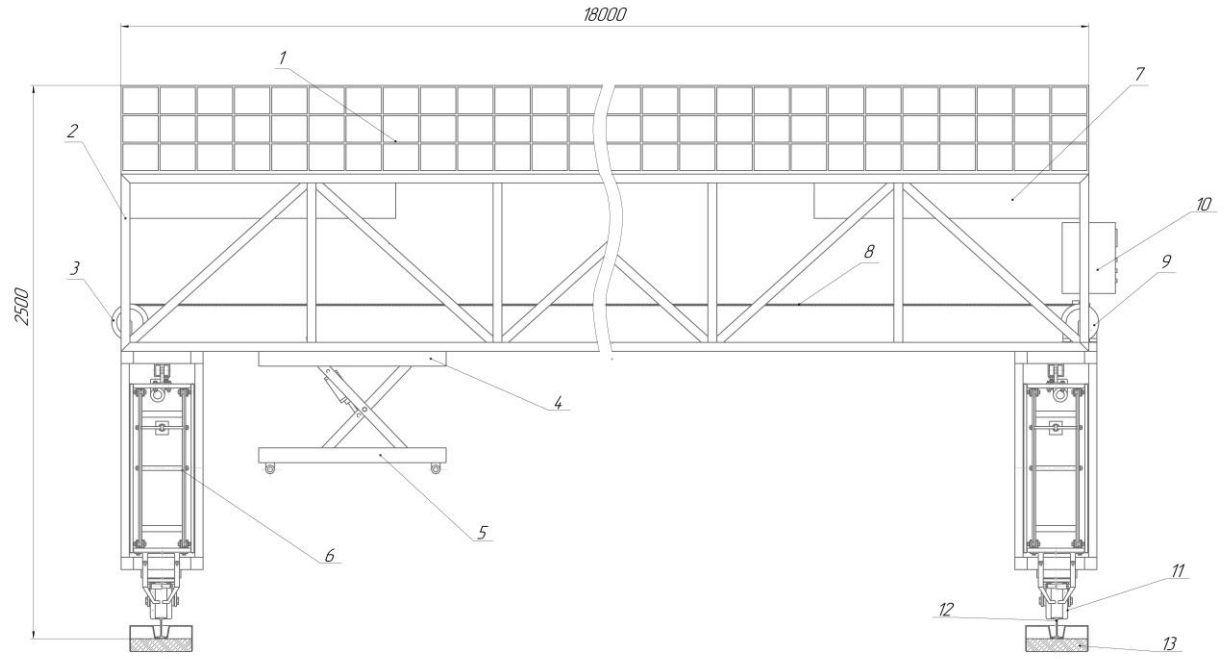
52.ДП.067.000.000А
Аналіз конструктивних рішень
Арк. 1 Листів 1
ДІАЕУ АІ-1-22
Копіював Формат А1



1. Ширина 1 загінки 18м
2. Кількість загінок 55
3. Кількість опорних стовпчиків 16500 шт.

Розроб.	Шишенко			Координатно-транспортна система поля площею 30 га	Літ. / Маса / Масштаб
Пров.	Іванко				Аркуш 1 / Аркушів 1
Т.контр.					ДДАЕУ АІ-1-22
Н.контр.	Золотобаєв				
Затв.	Тесленко				

Копіював Формат А1

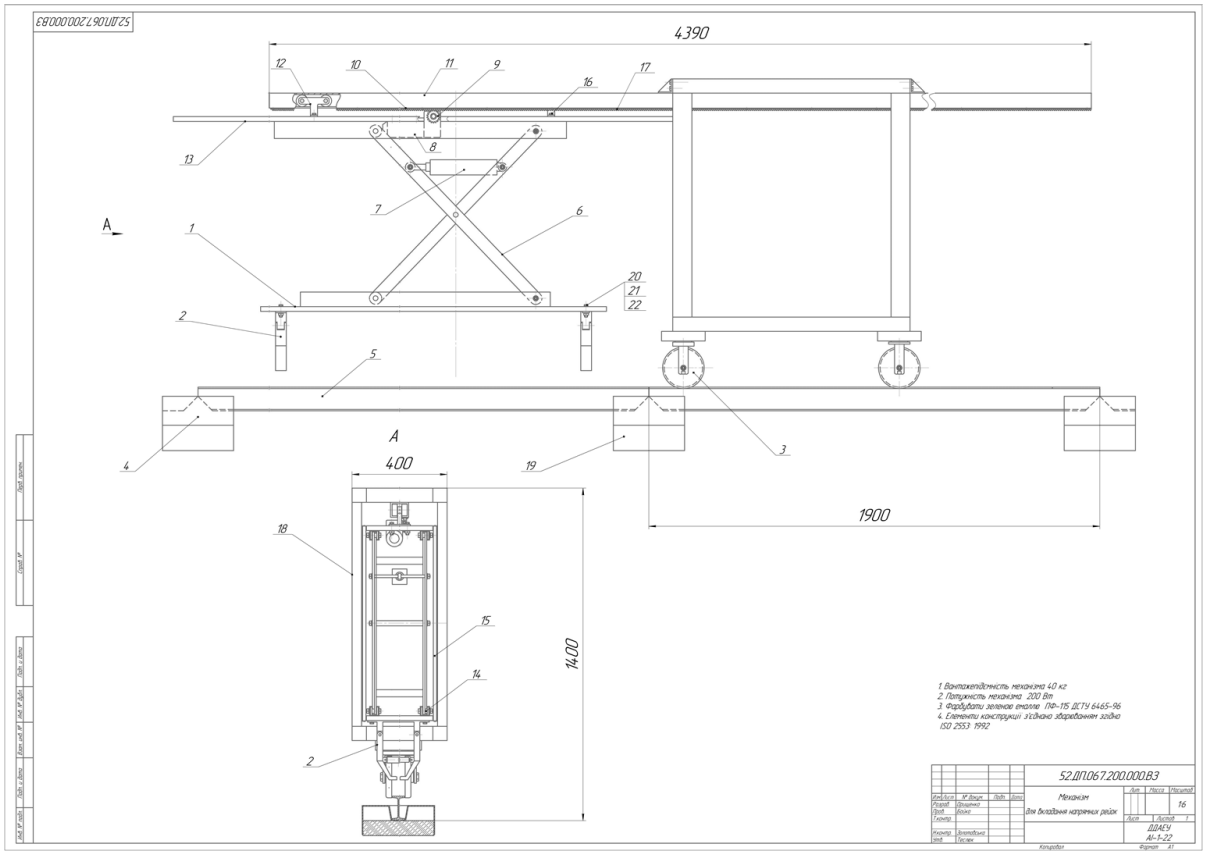


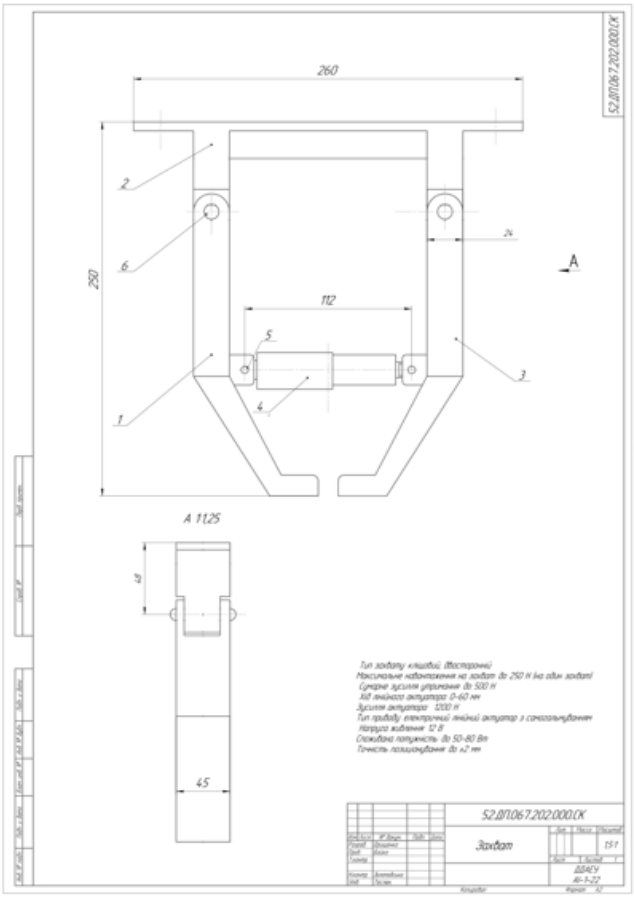
1 – сонячні панелі; 2 – ферма агромоста; 3 – зірочка; 4 – каретка; 5 – механізм агрегатування;
6 – механіз вкладання напрямних рейок; 7 – акамуляторні батареї; 8 – ланцюгова передача; 9 – мотор редуктор
10 – блок керування; 11 – мотор-колеса; 12 – напрямні рейки; опорні стовпчики

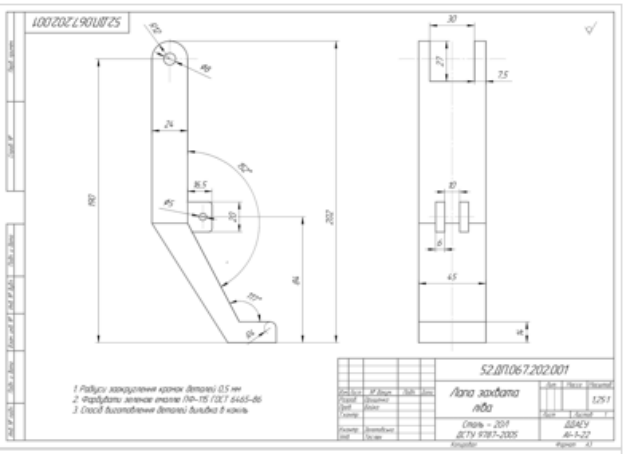
1. Лінійна швидкість кайдового руйня 2 м/с
2. Потужність мостової машини 4,76 кВт
3. Фарбувати синьою емаллю ПФ-115 ДСТУ 6455-96
4. Елементи конструкції з'єднано зварюванням згідно ISO 2553: 1992

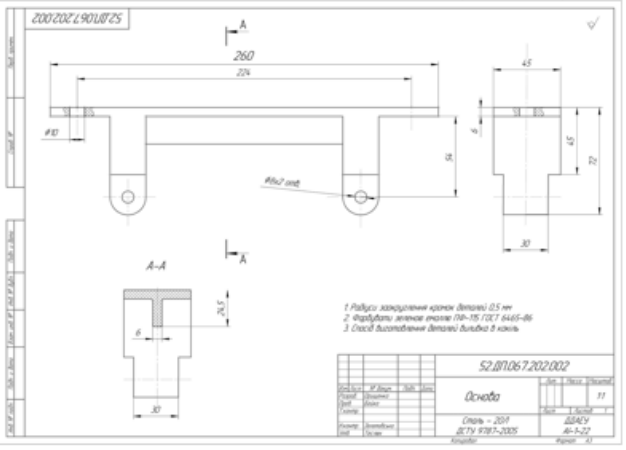
Розроб.	Шишенко			Агромост з механізмом для вкладання напрямних рейок	Літ. / Маса / Масштаб 1:1
Пров.	Іванко				Аркуш 1 / Аркушів 1
Т.контр.					ДДАЕУ АІ-1-22
Н.контр.	Золотобаєв				
Затв.	Тесленко				

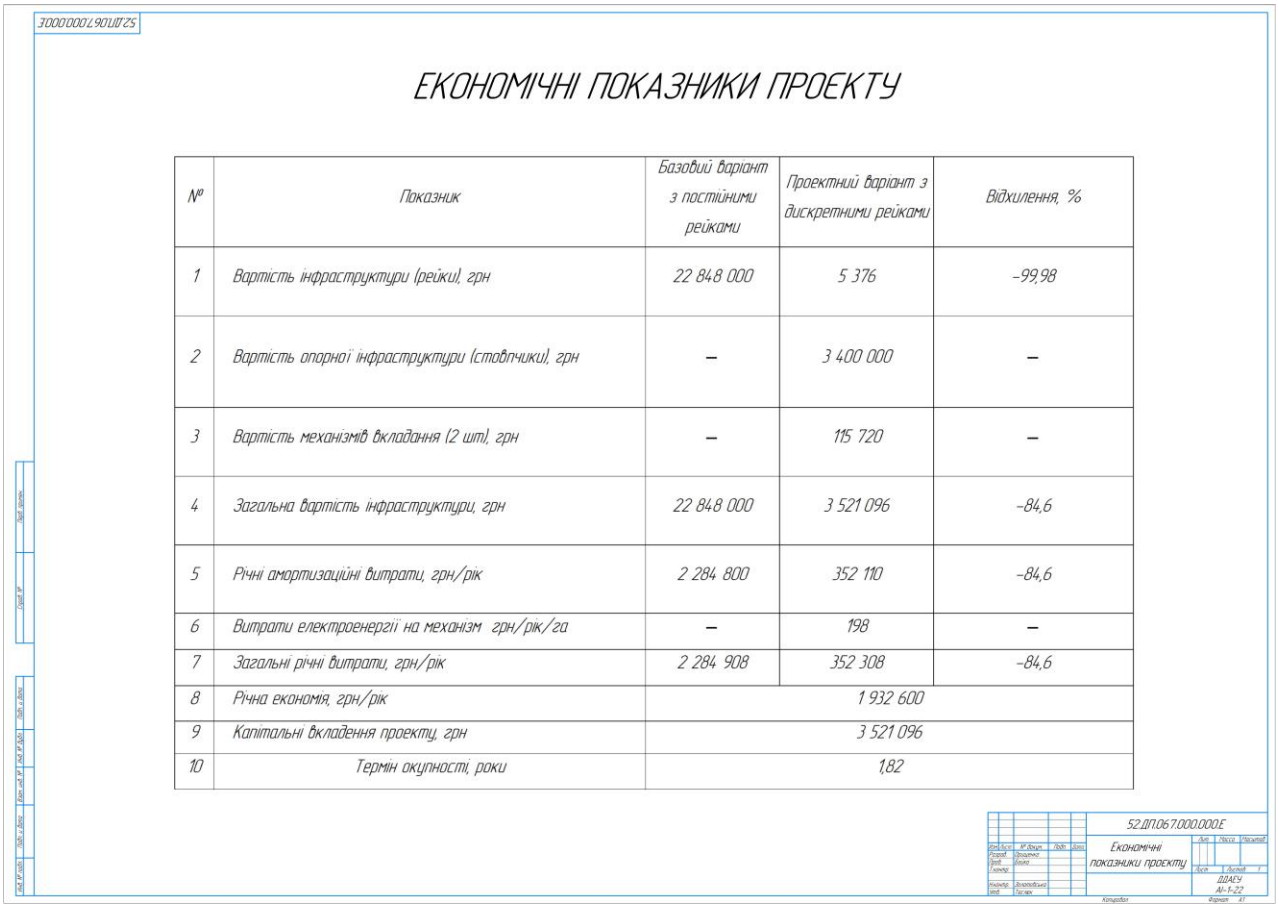
Копіював Формат А1


4390
1900
1400
400
A
A
1. Вантажопідйомність механізму 40 кг
2. Потужність механізму 200 Вт
3. Фарбувати зеленою емаллю ПФ-115 ДСТУ 6465-96
4. Елементи конструкції зі сталі вуглецевої звичайної якості ISO 2553 1992
52.ДП.067.200.000.ВЗ
Механізм для вкладання напрямних рейок
Літ. Маса Масштаб
16
Аркуш 1 Аркушів 1
ДВАЕУ
АІ-1-22
Копіював
Формат А1


260
290
112
24
A
A 1:1,25
45
Тип хомуту клішові (двосторонні)
Максимальне навантаження на хомут до 250 Н на один хомут
Сумарне зусилля утримання до 500 Н
Хід лінійного актуатора 0–60 мм
Зусилля актуатора 1200 Н
Тип приводу електричний лінійний актуатор з самогальмуванням
Напруга живлення 12 В
Споживана потужність до 50–80 Вт
Точність позиціонування до ±2 мм
52.ДП.067.202.000.СК
Захват
Літ. Маса Масштаб
1:1
Аркуш 1 Аркушів 1
ДВАЕУ
АІ-1-22
Копіював
Формат А2


52.ДП.067.202.001
30
27
7,5
24
R24
16,5
R5
180
20
202
84
10
15
4,5
16
1. Радіуси закруглення кромок деталей 0,5 мм
2. Фарбувати зеленою емаллю ПФ-115 ГОСТ 6465-86
3. Спосіб виготовлення деталей: виливок в кокіль
Лапа захватна ліва
Літ. Маса Масштаб
1,25:1
Аркуш 1 Аркушів 1
Сталь – 20Л ДСТУ 9387-2005
ДВАЕУ
АІ-1-22
Копіював
Формат А3


52.ДП.067.202.002
A
260
224
4,5
Ø10
16
Ø16±2 отв.
6
45
72
30
A–A
24,5
6
30
1. Радіуси закруглення кромок деталей 0,5 мм
2. Фарбувати зеленою емаллю ПФ-115 ГОСТ 6465-86
3. Спосіб виготовлення деталей: виливок в кокіль
Основа
Літ. Маса Масштаб
1:1
Аркуш 1 Аркушів 1
Сталь – 20Л ДСТУ 9387-2005
ДВАЕУ
АІ-1-22
Копіював
Формат А3



ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ПРОЕКТУ

№	Показник	Базовий варіант з постійними рейками	Проектний варіант з дискретними рейками	Відхилення, %
1	Вартість інфраструктури (рейки), грн	22 848 000	5 376	-99,98
2	Вартість опорної інфраструктури (стовпчики), грн	–	3 400 000	–
3	Вартість механізмів вкладання (2 шт), грн	–	115 720	–
4	Загальна вартість інфраструктури, грн	22 848 000	3 521 096	-84,6
5	Річні амортизаційні витрати, грн/рік	2 284 800	352 110	-84,6
6	Витрати електроенергії на механізм грн/рік/га	–	198	–
7	Загальні річні витрати, грн/рік	2 284 908	352 308	-84,6
8	Річна економія, грн/рік	1 932 600		
9	Капітальні вкладення проекту, грн	3 521 096		
10	Термін окупності, роки	1,82		

52.ДП.067.000.000Е

Економічні показники проекту

ШАЕУ
АІ-1-23

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі на тему удосконалення мостової технології землеробства шляхом розробки механізму вкладання напрямних рейок вирішено комплекс інженерних і науково-практичних задач, спрямованих на підвищення ефективності агромостових систем.

У першому розділі проведено аналіз існуючих технологій мостового землеробства та встановлено, що використання постійних рейкових колій супроводжується значною металоємністю, яка для площі 30 га може перевищувати 380 т металу.

У другому розділі обґрунтовано технологічну схему роботи агромостової машини та визначено основні параметри системи, зокрема ширину захвату 18 м, що дозволяє забезпечити обробіток площі з кількістю проходів близько 17.

У третьому розділі розроблено конструкцію механізму вкладання рейок та виконано його інженерні розрахунки. Встановлено, що зусилля переміщення становить близько 400 Н, а необхідна потужність приводу не перевищує 0,2–0,25 кВт, що підтверджує енергоефективність запропонованого рішення.

У четвертому розділі проведено аналіз умов праці та встановлено основні небезпечні фактори, пов'язані з переміщенням рейок і роботою механізму. Запропоновано комплекс заходів, що дозволяє знизити виробничі ризики та мінімізувати вплив на навколишнє середовище.

У п'ятому розділі виконано економічне обґрунтування. Встановлено, що вартість інфраструктури базового варіанту становить 22,85 млн грн, тоді як проектного – 3,52 млн грн, що забезпечує разову економію понад 19,3 млн грн. Річна економія експлуатаційних витрат становить близько 1,93 млн грн, а строк окупності – 1,82 року.

Таким чином, розроблений механізм вкладання напрямних рейок дозволяє зменшити витрати на інфраструктуру більш ніж на 84%, підвищити ефективність використання агромостової системи та є економічно доцільним для впровадження у виробничих умовах.