

**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 овочевої сівалки точного висіву з мехатронною
системою керування для мостового землеробства**

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-2-22 за
спеціальністю 208 «Агроінженерія»

_____ Гулак Олександр Володимирович

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

Гулаку Олександру Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Удосконалення овочевої сівалки точного висіву з мехатронною системою керування для мостового землеробства

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 вирощування овочевих культур, посівна техніка. Актуальні розробки запропоновані в патентах та реалізовані у вигляді діючих сівалок та висівних апаратів, наукові напрацювання за даною тематикою науковців кафедри ТСГМ.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Характеристика господарства. 2. Аналіз сучасних машин для посіву. 3. Обґрунтування конструкції та розрахунок дозуючого пристрою овочевої сівалки. 4. Охорона праці. 5. Техніко-економічна оцінка удосконаленої сівалки. 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 проекту

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

(підпис)

Гулак О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Бойко В. Б.

(прізвище та ініціали)

Поз.	Форм.	Позначення		Найменування	Кіл.	Прим.	
				<u>Текстові документи</u>			
	A4	52ДП.070.000.000ПЗ		Пояснювальна записка	89		
				<u>Графічні матеріали</u>			
1	A1	52ДП.070.000.000А		Аналіз господарської діяльності підприємства	1		
2	A1	52ДП.070.000.000А		Аналіз конструктивних рішень	2		
3	A1	52ДП.070.100.000ВЗ		Конструктивна схема	1		
4	A1	52ДП.070.106.000СК		Складальне креслення	1		
5	A1	52ДП.070.106.000		Деталювання	1		
6	A1	52ДП.070.000.000Е		Економічні показники проекту	1		
				52.ДП.070.000.000.ПД			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.				
Розроб.		Гулак О.В.			Лім.	Лист	Листів
Перев.		Бойко В.Б.			у	4	89

<i>Т.контр.</i>			<i>Відомість дипломного проекту</i>	<i>ДДАЕУ АІ-2-22</i>
<i>Н.контр.</i>	<i>Золотовська О.В.</i>			
<i>Зат.</i>	<i>Теслюк Г.В.</i>			

АНОТАЦІЯ

Гулак О.В. Удосконалення овочевої сівалки точного висіву з мехатронною системою керування для мостового землеробства / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

У випускній кваліфікаційній роботі розглянуто підвищення ефективності висіву овочевих культур в умовах мостового землеробства шляхом удосконалення овочевої сівалки точного висіву та впровадження мехатронної системи керування. Проведено аналіз сучасного стану механізації посівних процесів і конструкцій сівалок точного висіву, визначено їх основні недоліки.

Обґрунтовано необхідність адаптації посівної техніки до умов мостового землеробства. Запропоновано удосконалення дозуючого пристрою, що забезпечує підвищення точності дозування насіння та рівномірність його висіву.

Розроблено мехатронну систему керування процесом висіву з використанням датчиків і виконавчих механізмів, яка забезпечує узгодження роботи висівного апарата з рухом агрегату. Виконано розрахунок основних параметрів машини та оцінено ефективність запропонованих рішень.

Розглянуто питання охорони праці та виконано економічне обґрунтування впровадження удосконаленої сівалки.

Ключові слова: овочева сівалка, точний висів, дозуючий пристрій, мостове землеробство, мехатронна система.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ	10
1.1. Загальна характеристика підприємства	10
1.2. Аналіз галузі рослинництва господарства	11
1.3. Стан механізації та енергозабезпеченість	15
1.4. Економічні показники та обґрунтування доцільності проекту	18
1.5. Висновки до розділу	21
2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	22
2.1. Особливості технології вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті	22
2.2. Особливості процесу висіву у мостовій технології землеробства	25
2.3. Аналіз сівалок і висівних апаратів та їх удосконалення для реалізації адресного висіву	28
2.4. Висновки до розділу	35
3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА	36
3.1. Розробка удосконаленого дозуючого пристрою сівалки	36
3.2. Мехатронна система удосконаленої сівалки	41
3.3. Розрахунок параметрів дозуючого пристрою сівалки	43
3.4. Розрахунок приводу висівного апарата	54
3.5. Розрахунок висівної частини сівалки	56
3.6. Розрахунок на міцність складових удосконаленої сівалки	62
3.7. Висновки до розділу	65

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	66
4.1. Аналіз умов праці при виконанні посівних робіт	66
4.2. Потенційні небезпеки та шкідливі фактори	67
4.3. Заходи з підвищення безпеки праці	70
4.4. Електробезпека мехатронної системи	72
4.5. Пожежна безпека та охорона навколишнього середовища	73
4.6. Висновки до розділу	76
5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	77
5.1. Загальні положення	77
5.2. Інвестиції в проект	78
5.3. Визначення експлуатаційних витрат	79
5.4. Розрахунок економічної ефективності удосконалення	82
5.5. Висновки по розділу	84
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	85
ЛІТЕРАТУРА	87
ДОДАТКИ	90

ВСТУП

Сучасний розвиток аграрного виробництва в Україні характеризується зростанням вимог до ефективності використання ресурсів, підвищення продуктивності праці та впровадження інноваційних технологій [1, 2]. Особливого значення набуває точність виконання технологічних операцій, зокрема під час висіву овочевих культур, де від якості розміщення насіння залежить рівномірність сходів, розвиток рослин і кінцевий урожай.

Традиційні технології обробітку ґрунту та посіву, що базуються на використанні колісних або гусеничних агрегатів, призводять до ущільнення ґрунту, нерівномірності глибини загортання насіння та зниження ефективності використання посівного матеріалу [3]. У зв'язку з цим актуальним є впровадження альтернативних підходів до організації технологічних процесів, одним із яких є мостове землеробство. Дана технологія передбачає виконання польових робіт за допомогою агромостових машин, що рухаються по стаціонарних коліях, забезпечуючи мінімальний вплив на ґрунт і високу точність позиціонування робочих органів.

Разом із тим використання мостових систем висуває нові вимоги до конструкції сільськогосподарських машин, зокрема овочевих сівалок точного висіву. Існуючі конструкції не повною мірою адаптовані до умов роботи агромоста, що обмежує їх ефективність. Особливо це стосується дозуючих пристроїв, які не забезпечують необхідної точності подачі насіння та стабільності процесу висіву при зміні режимів роботи.

Суттєвим напрямом підвищення ефективності сівалок є впровадження мехатронних систем керування, які дозволяють автоматизувати процес дозування насіння, забезпечити синхронізацію роботи висівного апарата з рухом агрегату та підвищити точність виконання технологічної операції. Використання датчиків, електронних систем керування та виконавчих механізмів відкриває можливості для реалізації адаптивного висіву з урахуванням умов роботи.

Таким чином, удосконалення овочевої сівалки точного висіву з впровадженням мехатронної системи керування для умов мостового землеробства є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності виробництва овочевої продукції, зниженню витрат насіння та покращенню якості виконання посівних робіт.

Метою даної роботи є підвищення ефективності процесу висіву овочевих культур шляхом удосконалення конструкції овочевої сівалки точного висіву та розробки мехатронної системи керування, адаптованої до умов мостового землеробства.

1. ГОСПОДАРСЬКА ДІЯЛЬНІСТЬ

1.1. Загальна характеристика підприємства

Сільськогосподарське підприємство ТД «Agro Demetra» розташоване на території села Степове Дніпровського району Дніпропетровської області на відстані близько 35 км від обласного центру – міста Дніпро. Географічне розташування господарства забезпечує зручні транспортні зв'язки та сприятливі умови для ведення сільськогосподарського виробництва [4].

Загальна площа орних земель підприємства становить 351 га. Основним напрямком діяльності є вирощування зернових культур і овочів з орієнтацією на товарне виробництво. Господарство було засноване у 2015 році та на початковому етапі спеціалізувалося переважно на овочівництві. У подальшому відбулося розширення виробничої діяльності, зокрема з 2017 року підприємство активно займається вирощуванням насіннєвого матеріалу зернових культур.

У структурі підприємства передбачено як рослинницький, так і тваринницький напрям. Для розвитку останнього було використано наявну матеріально-технічну базу колишнього господарства, зокрема реконструйовано виробничі приміщення під складські потреби та утримання великої рогатої худоби.

Організаційна структура управління підприємством є лінійно-функціональною. Загальне керівництво здійснює керівник господарства, а виробничі процеси координуються за участю головного агронома та головного інженера. Чисельність персоналу становить близько 12 працівників із сезонним збільшенням до 20 осіб у період проведення польових робіт. Така динаміка кадрового складу обумовлена як розширенням обсягів виробництва, так і стабільним рівнем оплати праці.

Кліматичні умови району характеризуються як помірно континентальні з жарким літом і відносно м'якою зимою. Середньорічна температура повітря становить близько 12 °С, а річна кількість опадів – приблизно 420 мм. Водночас спостерігається нерівномірність їх розподілу протягом року, що створює ризики дефіциту вологи в ґрунті. Це обумовлює необхідність впровадження ресурсозберігаючих технологій та заходів, спрямованих на збереження вологи.

Ґрунтовий покрив представлений переважно чорноземами різного механічного складу, що забезпечує високий потенціал родючості. Водночас кліматичні особливості, зокрема значні температурні коливання та дія вітрових навантажень, можуть негативно впливати на продуктивність сільськогосподарських культур.

Таким чином, ТД «Agro Demetra» є сучасним сільськогосподарським підприємством із розвиненою структурою виробництва, достатнім рівнем ресурсного забезпечення та сприятливими природно-кліматичними умовами для ведення рослинництва. Разом із тим існуючі фактори, зокрема нестача вологи та потреба у підвищенні ефективності технологічних процесів, обумовлюють необхідність впровадження інноваційних технічних рішень, зокрема у сфері механізації посівних робіт.

1.2. Аналіз галузі рослинництва господарства

Рослинництво є провідною галуззю господарської діяльності ТД «Agro Demetra» і формує основну частину валової продукції підприємства. Ефективність функціонування даної галузі залежить від раціонального використання земельних ресурсів, структури посівних площ, рівня агротехніки та застосування сучасних технологій вирощування культур.

Земельні угіддя господарства представлені переважно чорноземами, які характеризуються високою природною родючістю та сприятливими

агрофізичними властивостями. З метою збереження родючості ґрунтів у господарстві впроваджено систему сівозмін, яка передбачає чергування зернових, технічних і кормових культур. Це дозволяє підвищити ефективність використання поживних речовин, зменшити засміченість полів і стабілізувати урожайність.

Для оцінки структури посівних площ розглянемо їх динаміку за 2023–2025 роки (табл. 1.1).

Таблиця 1.2 – Структура посівних площ господарства за 2023–2025 рр.

Культура	2023 р., га/%	2024 р., га/%	2025 р., га/%
Кукурудза на зерно	58 / 17,1	55 / 16,2	50 / 14,3
Ярий ячмінь	60 / 17,7	62 / 18,3	63 / 18,0
Соняшник	62 / 18,3	58 / 17,1	59 / 16,9
Озима пшениця	59 / 17,4	61 / 18,0	65 / 18,6
Чорний пар	54 / 15,9	57 / 16,8	55 / 15,7
Багаторічні трави	22 / 6,5	23 / 6,8	25 / 7,1
Кукурудза на корм	12 / 3,5	14 / 4,1	17 / 4,9
Овочеві культури	11 / 3,2	10 / 2,9	15 / 4,3
Всього	338 / 100	340 / 100	349 / 100

Аналіз структури посівних площ свідчить про переважання зернових культур у виробничій діяльності підприємства. Разом із тим у 2025 році спостерігається збільшення площ під овочевими культурами, що пов'язано з підвищенням їх економічної ефективності. Коливання площ окремих культур обумовлені дотриманням сівозміни та зміною кон'юнктури ринку.

Важливим показником ефективності рослинництва є урожайність культур, яка наведена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Урожайність основних культур, ц/га (2023–2025 рр.)

Культура	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Кукурудза на зерно	48	52	65
Ярий ячмінь	34	36	39
Соняшник	17,5	19,2	22,4
Озима пшениця	42	44	47
Томати	360	340	395
Капуста	290	335	390

Як видно з таблиці, урожайність більшості культур має тенденцію до зростання, особливо у 2025 році. Найбільш значне підвищення спостерігається у виробництві овочевих культур, що пояснюється застосуванням інтенсивних технологій вирощування та покращенням агротехнічних заходів.

Для більш повної оцінки ефективності галузі розглянемо валовий збір продукції (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Валовий збір продукції рослинництва, ц (2023–2025 рр.)

Культура	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Кукурудза на зерно	3950	4300	5250
Ярий ячмінь	2100	2250	2550
Озима пшениця	2600	2850	3050
Всього зернових	8650	9400	10850
Соняшник	720	760	810
Овочеві культури	320	410	680

Аналіз валового збору показує стабільне зростання обсягів виробництва, що досягнуто як за рахунок підвищення урожайності, так і оптимізації структури посівних площ. Особливо динамічно розвивається овочівництво, що підтверджує перспективність даного напрямку.

Разом із позитивними тенденціями слід відзначити, що виробництво овочевої продукції характеризується значними витратами праці, що пов'язано з недостатнім рівнем механізації окремих технологічних операцій. Це обумовлює необхідність впровадження сучасних технічних засобів, зокрема удосконалених сівалок точного висіву з мехатронними системами керування.

Таким чином, галузь рослинництва ТД «Agro Demetra» характеризується стабільним розвитком, зростанням продуктивності та підвищенням економічної ефективності. Водночас існує потреба в подальшій модернізації технологічних процесів, особливо в овочівництві, що обґрунтовує доцільність удосконалення посівної техніки.

1.3. Стан механізації та енергозабезпеченість

Рівень механізації сільськогосподарського виробництва є одним із ключових факторів, що визначають ефективність функціонування підприємства. Використання сучасної техніки дозволяє своєчасно виконувати технологічні операції, знижувати трудові витрати та підвищувати якість обробітку ґрунту і посіву культур.

У ТД «Agro Demetra» механізація охоплює більшість технологічних процесів у рослинництві. Основні операції, такі як основний обробіток ґрунту, посів, внесення добрив і захист рослин, виконуються з використанням машинно-тракторного парку. Разом із тим окремі процеси, особливо в овочівництві, залишаються частково немеханізованими, що знижує загальну ефективність виробництва.

Для оцінки рівня механізації основних робіт наведемо відповідні показники (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Рівень механізації основних робіт у рослинництві, %

Вид робіт	Рівень механізації, %
Основний обробіток ґрунту	100
Сівба культур	96
Внесення добрив	90
Захист рослин	95
Збирання зернових	100
Заготівля кормів	70
Прополювання	68
Збирання овочів	60

Як видно з таблиці, найвищий рівень механізації спостерігається при виконанні основного обробітку ґрунту та збирання зернових культур. Водночас у галузі овочівництва рівень механізації залишається недостатнім, особливо для таких операцій, як прополювання та збирання врожаю. Це призводить до значних витрат ручної праці та збільшення собівартості продукції.

Матеріально-технічну основу господарства становить машинно-тракторний парк, який забезпечує виконання основних технологічних процесів (табл. 1.5).

Таблиця 1.5 – Наявність основної сільськогосподарської техніки

Найменування техніки	Кількість, шт.
Трактори (МТЗ, ХТЗ, ЮМЗ)	5
Зернозбиральні комбайни	2
Вантажні автомобілі	5
Сівалки зернові	2
Сівалки точного висіву	2
Обприскувачі	2
Плуги	4
Культиватори	6
Борони	25
Косарки та граблі	6
Навантажувачі	2

Аналіз складу машинно-тракторного парку свідчить про достатній рівень технічного забезпечення господарства, що дозволяє своєчасно виконувати більшість агротехнічних операцій. Однак наявна техніка переважно орієнтована на традиційні технології землеробства і не повною мірою відповідає вимогам сучасних високоточних систем.

Енергозабезпеченість господарства визначається рівнем забезпечення технікою, а також обсягами використання паливно-енергетичних ресурсів. Основним джерелом енергії є дизельне паливо, яке використовується для роботи тракторів і самохідних машин.

Таблиця 1.6 – Використання паливно-енергетичних ресурсів

Вид ресурсу	Річне споживання
Дизельне паливо	19,5 т
Бензин	5,0 т
Мастильні матеріали	210 кг

Значні витрати паливно-енергетичних ресурсів свідчать про енергоємність виробничих процесів, що є характерним для традиційних технологій землеробства. У зв'язку з цим актуальним є пошук шляхів зниження енергоспоживання за рахунок впровадження більш ефективних технічних рішень.

Одним із перспективних напрямів є використання мостового землеробства, яке дозволяє зменшити кількість проходів техніки по полю, знизити ущільнення ґрунту та скоротити витрати палива. Впровадження таких технологій потребує адаптації існуючих машин або розробки нових технічних засобів, зокрема сівалок точного висіву з мехатронними системами керування.

Таким чином, рівень механізації ТД «Agro Demetra» є достатнім для виконання основних технологічних процесів, однак у галузі овочівництва спостерігається потреба в його підвищенні. Значні витрати енергоресурсів і залежність від традиційних технологій обґрунтовують доцільність впровадження сучасних автоматизованих систем та удосконалення посівної техніки.

1.4. Економічні показники та обґрунтування доцільності проекту

Ефективність діяльності сільськогосподарського підприємства визначається системою економічних показників, які характеризують рівень виробництва, продуктивність праці, прибутковість і фінансову стійкість. Аналіз цих показників дозволяє оцінити сучасний стан господарства та обґрунтувати доцільність впровадження нових технічних рішень.

У ТД «Agro Demetra» протягом останніх років спостерігається позитивна динаміка розвитку, що проявляється у зростанні обсягів виробництва, підвищенні рівня рентабельності та покращенні соціально-економічних умов праці. Основні економічні показники діяльності господарства наведено в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Основні економічні показники діяльності господарства

Показник	2023 р.	2024 р.	2025 р.
Чисельність працівників, осіб	16	19	22
Середньомісячна заробітна плата, грн	12500	14800	17200
Рентабельність зернових культур, %	30	34	38
Рентабельність овочевих культур, %	90	105	118
Рентабельність тваринництва, %	24	27	30
Кредиторська заборгованість, тис. грн	13800	12100	9500

Аналіз наведених показників свідчить про стійке економічне зростання підприємства. Зокрема, чисельність працівників поступово збільшується, що обумовлено розширенням виробництва та зростанням обсягів виконуваних робіт. Водночас спостерігається суттєве підвищення рівня оплати праці, що позитивно впливає на мотивацію персоналу та сприяє залученню кваліфікованих кадрів.

Позитивною тенденцією є також зниження кредиторської заборгованості, що свідчить про покращення фінансової дисципліни та підвищення платоспроможності підприємства. Це створює передумови для інвестування в модернізацію виробництва та впровадження інноваційних технологій.

Рентабельність виробництва має стабільну тенденцію до зростання. Найбільш прибутковим напрямом є овочівництво, де рівень рентабельності у 2025 році перевищує 100 %. Це пояснюється високим попитом на овочеву продукцію, можливістю її реалізації за вигідними цінами, а також відносно коротким періодом окупності витрат.

Разом із тим аналіз трудових витрат (див. табл. 1.8) показує, що овочівництво залишається найбільш трудомісткою галуззю.

Таблиця 1.8 – Трудові витрати на виробництво продукції, люд.-год/га

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

Значна частка ручної праці пов'язана з недостатнім рівнем механізації окремих технологічних операцій, зокрема під час висіву, догляду за рослинами та збирання врожаю. Це призводить до підвищення собівартості продукції та зниження загальної ефективності виробництва.

Крім того, традиційні технології посіву не забезпечують необхідної точності розміщення насіння, що негативно впливає на рівномірність сходів і кінцеву врожайність культур. Нерівномірний висів призводить до перевитрати посівного матеріалу та зниження продуктивності рослин.

Аналіз діяльності господарства показав, що овочівництво є одним із найбільш перспективних напрямів, однак воно характеризується високою трудомісткістю та значною часткою ручної праці. Основною причиною цього є недостатній рівень механізації посівних операцій і недосконалість існуючих овочевих сівалок точного висіву.

Традиційні дозуючі пристрої не забезпечують стабільної подачі насіння, що призводить до нерівномірності його висіву, перевитрати посівного матеріалу та зниження врожайності. Додаткові операції, такі як проріджування, збільшують витрати праці та підвищують собівартість продукції.

Удосконалення овочевої сівалки шляхом модернізації дозуючого пристрою та впровадження мехатронної системи керування дозволить підвищити точність висіву, зменшити витрати насіння та скоротити потребу в ручній праці.

Таким чином, реалізація проєкту є економічно доцільною та сприятиме підвищенню ефективності виробництва овочевої продукції.

1.5. Висновки до розділу

1. Проведений аналіз господарської діяльності ТД «Agro Demetra» показав, що підприємство має достатній виробничий та ресурсний потенціал, стабільні показники розвитку та сприятливі природно-кліматичні умови для ведення рослинництва.

2. Встановлено, що галузь рослинництва характеризується зростанням урожайності та валового виробництва, при цьому найбільш перспективним напрямом є овочівництво, яке має високий рівень рентабельності.

3. Аналіз стану механізації показав, що основні технологічні процеси є механізованими, однак у овочівництві зберігається значна частка ручної праці, особливо під час посіву та догляду за рослинами.

4. Виявлено, що існуючі технічні засоби не забезпечують необхідної точності висіву, що призводить до перевитрати насіння, нерівномірності сходів і зниження ефективності виробництва.

5. На основі проведеного аналізу обґрунтовано доцільність удосконалення овочевої сівалки точного висіву шляхом модернізації дозуючого пристрою та впровадження мехатронної системи керування, що дозволить підвищити ефективність виробництва в умовах мостового землеробства.

2. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Особливості технології вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті

Технологія вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті має ряд специфічних особливостей, які відрізняють її від виробництва зернових та технічних культур. Основною відмінністю є підвищені вимоги до точності виконання технологічних операцій, що безпосередньо впливають на формування врожаю та якості продукції [5-7].

Овочеві культури характеризуються високою чутливістю до умов вирощування, зокрема до якості підготовки ґрунту, рівномірності висіву та глибини загортання насіння. Оптимальна глибина загортання для більшості овочевих культур становить 1–5 см, при цьому для дрібнонасінневих культур (морква, цибуля) вона не перевищує 1,5–2,5 см, а для крупніших (квасоля, горох) може досягати 4–5 см [8, 9].

Однією з ключових операцій є посів, який повинен забезпечувати рівномірне розміщення насіння у рядку. Відстань між рослинами залежить від культури і, як правило, становить:

- для моркви – 3–5 см;
- для цибулі – 4–6 см;
- для капусти – 30–50 см;
- для томатів – 25–40 см.

Ширина міжрядь зазвичай знаходиться в межах 45–70 см, що забезпечує можливість механізованого догляду за рослинами.

Норма висіву насіння овочевих культур коливається у значних межах і становить:

- для моркви – 3–6 кг/га;
- для цибулі – 6–10 кг/га;

- для капусти (розсадним способом) – еквівалент 0,3–0,5 кг/га насіння;
- для томатів – 0,4–0,8 кг/га.

Точність висіву є критичним параметром, при цьому допустиме відхилення інтервалу між насінинами не повинно перевищувати $\pm 10\text{--}15\%$, а відхилення глибини загортання – ± 1 см.

Суттєвою особливістю є підвищена трудомісткість виробництва. Трудові витрати на вирощування овочевих культур можуть досягати 400–500 люд.-год/га, що у 4–6 разів більше порівняно із зерновими культурами. Значна частина цих витрат припадає на ручні операції, такі як проріджування, прополювання та збирання.

Важливим фактором є забезпечення водного режиму ґрунту. Потреба овочевих культур у волозі становить у середньому 3000–5000 м³/га за вегетаційний період. Оптимальна вологість ґрунту повинна підтримуватись на рівні 70–80 % НВ (найменшої вологоємності), особливо в період проростання насіння.

Температурний режим також має суттєве значення. Більшість овочевих культур проростає при температурі $+8\text{...}+12\text{ }^{\circ}\text{C}$, а оптимальна температура росту становить $+18\text{...}+25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відхилення від цих значень призводить до уповільнення росту та зниження врожайності.

У сучасних умовах все більшого поширення набувають технології точного землеробства, які дозволяють контролювати параметри висіву та догляду за рослинами [10–13]. Перспективним напрямом є також мостове землеробство, яке забезпечує точність позиціонування робочих органів до $\pm 2\text{--}3$ см, зменшує ущільнення ґрунту та дозволяє оптимізувати технологічні процеси [14].

Таким чином, технологія вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті характеризується високими вимогами до точності висіву, значною трудомісткістю та необхідністю контролю великої кількості параметрів. Це обґрунтовує доцільність застосування сучасних технічних рішень, зокрема удосконалених сівалок точного висіву з мехатронними системами керування.

З метою оцінки ефективності різних підходів до вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті доцільно провести їх порівняльний аналіз (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Порівняльна характеристика технологій вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті

Показник	Традиційна (відкритий ґрунт)	Інтенсивна (відкритий ґрунт)	Точне землеробство	Мостове землеробство
Спосіб обробітку ґрунту	Оранка 20– 25 см	Мінімальний 10–15 см	Strip-till / мінімальний	Локальний, без ущільнення
Кількість проходів техніки	8–12	6–8	4–6	2–4
Ущільнення ґрунту	Високе	Середнє	Низьке	Відсутнє
Точність висіву	±20–30 %	±15–20 %	±5–10 %	±3–5 %
Глибина загортання (відхилення)	±2–3 см	±1,5–2 см	±1 см	±0,5–1 см
Норма висіву (відхилення)	+20–30 %	+10–15 %	до 5 %	до 3 %
Витрати палива, л/га	60–80	45–60	30–45	20–30
Трудові витрати, люд.-год/га	450–550	350–450	250–350	180–250
Урожайність, % (від базової)	100	110–120	120–135	130–150
Рівень автоматизації	Низький	Середній	Високий	Дуже високий

Аналіз даних, наведених у таблиці 2.1, свідчить, що традиційні технології вирощування овочевих культур характеризуються значними витратами ресурсів, високим рівнем ущільнення ґрунту та недостатньою точністю виконання посівних операцій. Інтенсивні технології дозволяють частково покращити ці показники, однак не забезпечують необхідного рівня автоматизації та точності.

Використання елементів точного землеробства сприяє підвищенню якості виконання технологічних операцій і зменшенню витрат матеріальних ресурсів. Водночас найбільш ефективною є мостова технологія землеробства, яка дозволяє практично усунути негативний вплив рушіїв техніки на ґрунт, зменшити кількість проходів машин та забезпечити високу точність висіву.

Отже, сучасні тенденції розвитку овочівництва у відкритому ґрунті пов'язані з переходом до технологій, що забезпечують підвищення точності виконання операцій, зниження енергетичних витрат і мінімізацію впливу на ґрунт. У цьому контексті особливого значення набуває застосування мостового землеробства, яке створює принципово нові умови для організації процесу висіву.

У зв'язку з цим виникає необхідність детального аналізу особливостей процесу висіву в умовах мостової технології землеробства, що розглядається у наступному підрозділі.

2.2. Особливості процесу висіву у мостовій технології землеробства

Мостова технологія землеробства є сучасним напрямом розвитку аграрного виробництва, який передбачає виконання технологічних операцій за допомогою машин, що переміщуються по стаціонарних технологічних коліях або рейкових напрямних [15]. На відміну від традиційних технологій, де техніка безпосередньо рухається по поверхні поля, у мостових системах навантаження передається на опорні елементи, розташовані поза зоною обробітку. Це дозволяє

практично повністю усунути ущільнення ґрунту та зберегти його природну структуру.

У традиційних умовах процес висіву супроводжується негативним впливом рушіїв машин на ґрунт, що призводить до зниження його водопроникності, погіршення аерації та утруднення розвитку кореневої системи рослин. У мостовій технології ці недоліки усуваються, що створює більш сприятливі умови для проростання насіння та формування врожаю.

Однією з основних особливостей процесу висіву у мостових системах є висока точність позиціонування робочих органів. Завдяки жорстко заданій траєкторії руху мостової машини відхилення від заданої лінії не перевищує $\pm 2-3$ см, що дозволяє забезпечити стабільну ширину міжрядь і точне розміщення насіння у ґрунті. Це є особливо важливим для овочевих культур, де точність висіву визначає густоту стояння рослин.

Суттєвою перевагою є також стабільність швидкісного режиму роботи. У традиційних агрегатах швидкість руху змінюється під впливом зовнішніх факторів, що призводить до порушення рівномірності висіву. У мостових системах рух є більш рівномірним, що створює сприятливі умови для роботи висівних апаратів і забезпечує більш точне дозування насіння.

Конструктивно процес висіву у мостовій технології реалізується за рахунок використання модульних робочих органів, які можуть переміщуватися вздовж несучої конструкції мосту. Це дозволяє адаптувати машину до різних схем посіву, змінювати ширину міжрядь та кількість висівних секцій залежно від культури.

Важливим фактором є зменшення кількості проходів техніки по полю. Якщо у традиційних технологіях їх кількість становить 8–12, то у мостових системах вона може бути зменшена до 2–4, що дозволяє знизити витрати палива до рівня 20–30 л/га та скоротити загальні витрати енергії.

Особливу роль у процесі висіву відіграє дозуючий пристрій. У мостових умовах його робота є більш стабільною, що дозволяє досягти точності висіву на

рівні $\pm 3-5\%$. Це значно перевищує показники традиційних систем і дозволяє зменшити перевитрати насіння та підвищити рівномірність сходів.

Важливою особливістю мостової технології є можливість широкого впровадження мехатронних систем керування. Використання датчиків швидкості, положення та контролю висіву дозволяє в режимі реального часу регулювати процес дозування насіння. Це забезпечує синхронізацію роботи висівного апарата з рухом машини та підвищує точність виконання технологічної операції.

Особливої уваги в умовах мостового землеробства набуває реалізація адресного (координатного) висіву, який принципово відрізняється від традиційного підходу. У звичайних сівалках висів здійснюється залежно від переміщення привідного колеса, що не забезпечує високої точності через можливі пробуксовки та нерівномірність руху (рис. 2.2).

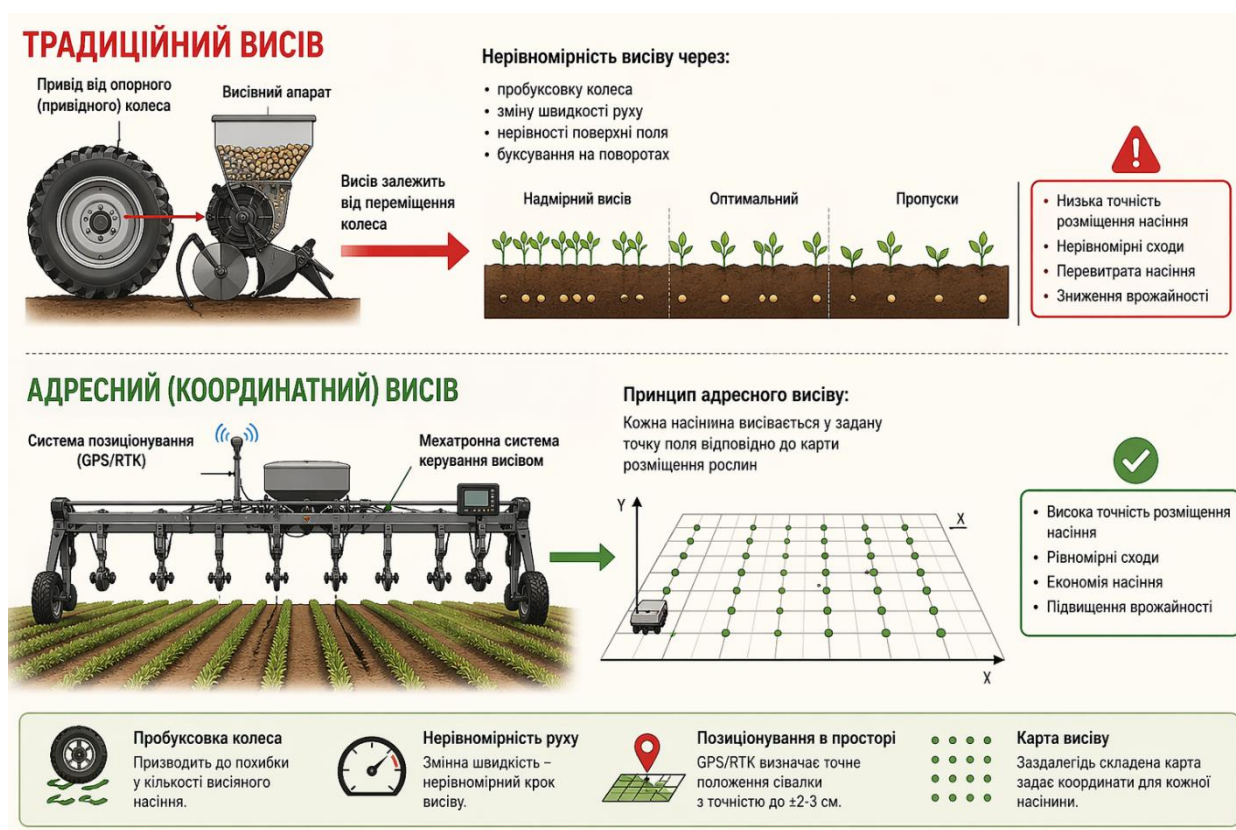


Рисунок 2.1 – Принцип реалізації адресного висіву в порівнянні з традиційним способом

У мостовій технології створюються умови для переходу до принципово нового типу висіву, при якому кожна насінина розміщується у заданій точці поля. Реалізація такого підходу потребує використання висівних апаратів нового типу з мехатронною системою керування. У цьому випадку процес висіву здійснюється на основі визначення просторового положення сівалки, а не механічного зв'язку з ходовими елементами.

Мехатронна система керування забезпечує подачу насіння у чітко визначені координати відповідно до заздалегідь складеної карти розміщення рослин. Така карта може формуватися з урахуванням агрохімічних властивостей ґрунту, рельєфу місцевості та інших факторів. Це дозволяє оптимізувати площу живлення кожної рослини та забезпечити рівномірність її розвитку.

Таким чином, процес висіву у мостовій технології землеробства характеризується високою точністю, стабільністю технологічних параметрів, зниженням енергетичних і трудових витрат та можливістю реалізації адресного висіву. Це відкриває нові можливості для підвищення ефективності вирощування овочевих культур.

У зв'язку з цим виникає необхідність детального аналізу існуючих конструкцій овочевих сівалок точного висіву та їх висівних апаратів з метою визначення напрямів їх удосконалення, що розглядається у наступному підрозділі.

2.3. Аналіз сівалок і висівних апаратів та їх удосконалення для реалізації адресного висіву

У сучасному овочівництві якість формування посівів визначається рівнем технічної досконалості сівалок та, насамперед, конструкцією їх висівних апаратів. Саме дозуючий пристрій визначає рівномірність подачі насіння, інтервали між рослинами та стабільність процесу висіву.

У виробничій практиці найбільш поширеними є механічні, пневмомеханічні та пневматичні висівні апарати. Кожен із цих типів має певні конструктивні особливості, які визначають їх експлуатаційні показники. Разом із тим усі вони можуть розглядатися як база для подальшого удосконалення з метою підвищення точності висіву та адаптації до умов мостового землеробства.

Механічні висівні апарати, що використовують ложкові, катушкові, пальчикові, дискові або барабанні коміркові робочі органи, характеризуються простотою конструкції та надійністю у роботі [16-18].

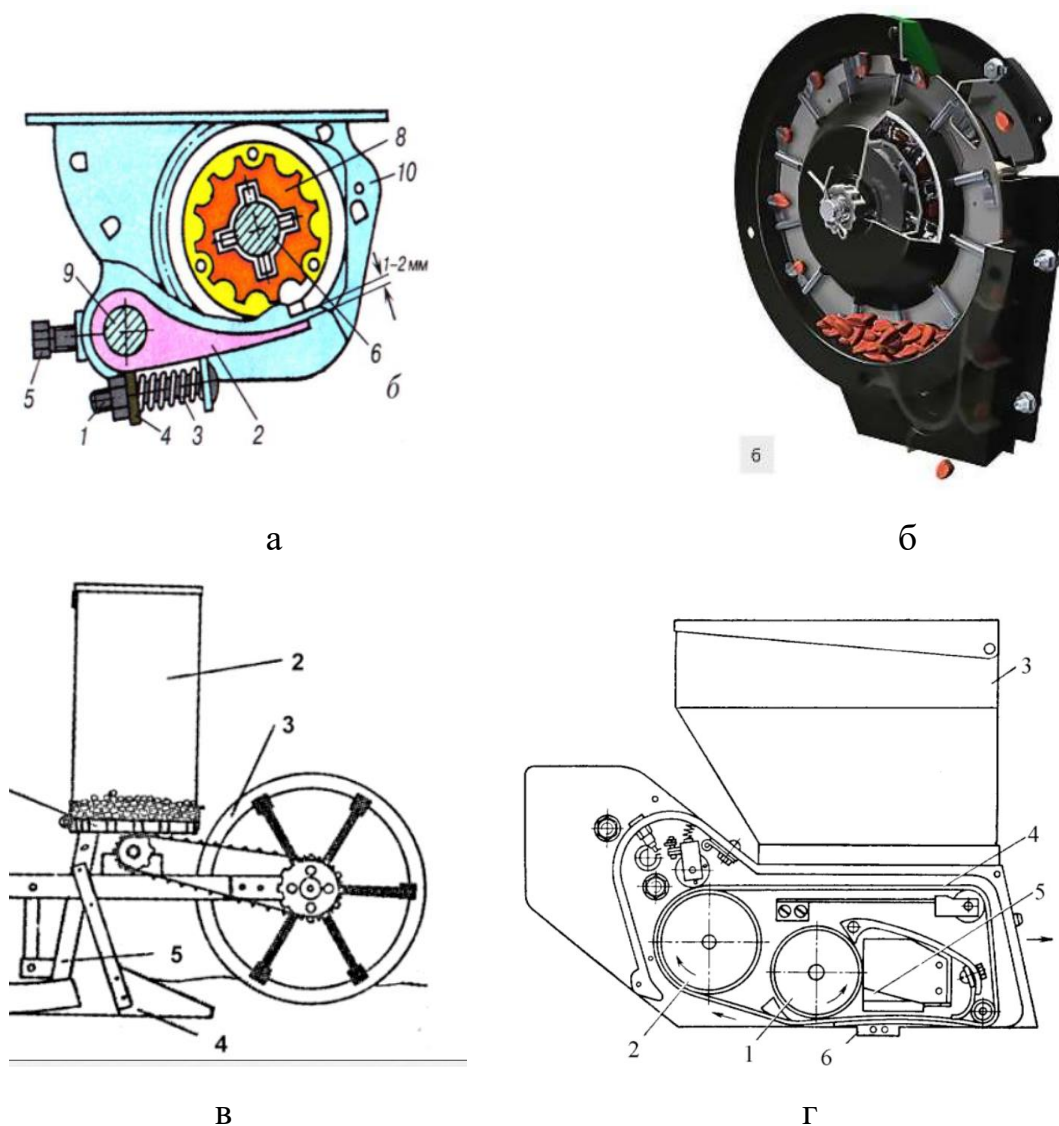


Рисунок 2.2 – Механічні висівні апарати:

а – катушковий; б – пальчиковий; в – дисковий; г – пасовий

Наведені апарати широко застосовуються як у овочевих, так і в сівалках просапних культур, зокрема катушкові апарати у машинах типу СОН-2.8, СО-4,2 для посіву овочевих культур, пальчикові апарати на сівалках KINZE3000 Twin Lene для посіву просапних культур, дискові з горизонтальним обертанням сівалки JJBROCH, пасові висівні апарати отримали поширення на сівалках Стенхей для посіву як овочевих так технічних культур.

Дозування насіння у таких системах здійснюється за рахунок заповнення робочих порожнин під дією сили тяжіння. Привід здійснюється від опорного колеса, що забезпечує синхронізацію подачі насіння з переміщенням агрегату.

Основними недоліками механічних апаратів є нестабільність заповнення комірок, залежність від фізичних властивостей насіння та вплив пробуксовки на точність висіву. Водночас їх конструкція є достатньо простою, що створює передумови для модернізації. Зокрема, заміна механічного приводу на електричний, а також інтеграція датчиків положення дозволяє значно підвищити точність подачі насіння та реалізувати керування процесом висіву.

Пневмо-механічні апарати є проміжним варіантом, у якому механічне дозування доповнюється пневматичними елементами. Повітряні потоки використовуються для стабілізації положення насіння або очищення комірок. Це дозволяє зменшити кількість пропусків і підвищити рівномірність висіву. До таких сівалок належать сівалки точного висіву Aeromat 8S (рис. 2.3) [19].

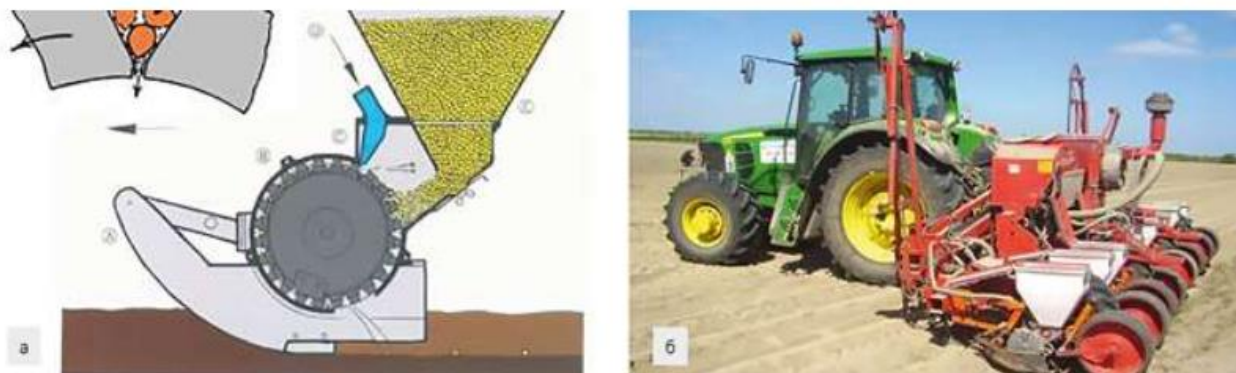


Рисунок 2.3 – Пневмо-механічна сівалки Aeromat 8S

Ще одним представником пневмомеханічних сівалок є сівалки Темпо (рис. 2.4) від Шведської компанії Väderstad [20].



Рисунок 2.4 – Пневмомеханічна сівалка точного висіву Темпо:

а – посів сівалкою Темпо; б – висівний апарат

У пневмомеханічній сівалці точного висіву процес дозування здійснюється гравітаційними силами а висіву за допомогою повітряного потоку. Під час роботи насіння із бункера надходить до висівного диска. Спеціальні елементи очищення забезпечують видалення надлишкових насінин, залишаючи у кожному отворі лише одну.

Після формування однозернового потоку насіння передається у зону транспортування. За допомогою витискного елемента насінина вводиться у камеру з підвищеним тиском повітря, що забезпечує її прискорене переміщення по висівній трубі до сошника. Такий спосіб подачі отримав назву PowerShoot, оскільки насіння фактично транспортується під дією повітряного потоку з високою швидкістю, яка може досягати приблизно 13–14 м/с.

Завдяки цьому забезпечується стабільність траєкторії руху насіння та точність його укладання у ґрунт навіть за підвищених швидкостей руху агрегату. Використання пневматичної системи дозволяє виконувати посів на швидкостях до 10–12 км/год, при цьому зберігається висока рівномірність розміщення насіння, навіть у складних умовах роботи, зокрема на нерівному рельєфі або при наявності вібрацій.

Застосування такого принципу висіву значно підвищує продуктивність сівалки та якість посіву, однак конструкція залишається складною та енергозалежною, що обумовлює необхідність подальшого удосконалення систем керування процесом висіву.

Разом із тим, як і у механічних системах, процес висіву у пневмомеханічних апаратах залишається залежним від швидкості руху агрегату. Проте їх конструкція вже містить елементи, які можуть бути використані при створенні більш досконалих систем. Зокрема, пневматичні канали можуть бути адаптовані для керованої подачі насіння, а механічний привід – замінений на електронно-керований.

Пневматичні висівні апарати є найбільш досконалими серед традиційних систем. Вони забезпечують утримання насіння на диску за рахунок вакууму або надлишкового тиску, що дозволяє досягти високої точності дозування. Такі апарати менш чутливі до форми та розміру насіння і можуть працювати на підвищених швидкостях. Яскравим представником овочевих сівалок точного висіву є сівалки від Італійської компанії Гаспардо (рис. 2.5) [21].

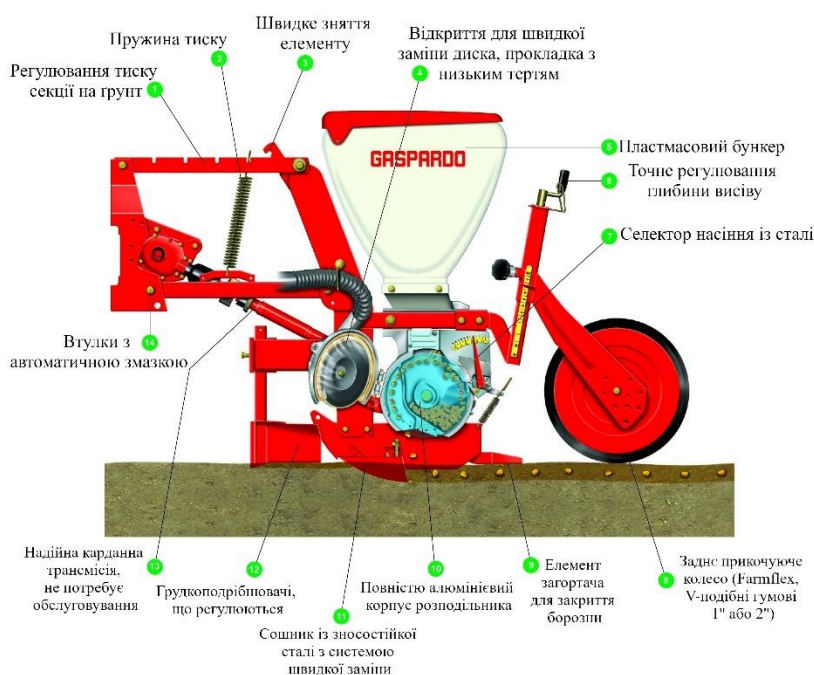


Рисунок 2.6 Секція пневматичної сівалки Гаспардо SP 8

Однак і в цьому випадку процес висіву залишається прив'язаним до швидкості руху сівалки. Незважаючи на високу точність відбору насіння, його розміщення у ґрунті не є координатно визначеним. Водночас саме пневматичні системи мають найбільший потенціал для модернізації, оскільки вже містять елементи керування потоком насіння, які можуть бути інтегровані у мехатронні системи.

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва, зокрема при впровадженні мостового землеробства, виникає необхідність переходу до адресного (координатного) висіву. Такий підхід передбачає розміщення кожної насінини у заздалегідь визначеній точці поля відповідно до координатної карти.

Реалізація цього принципу не потребує повної відмови від існуючих конструкцій сівалок, а може бути досягнута шляхом удосконалення їх дозуючих пристроїв. Основним напрямом такого удосконалення є відмова від механічного приводу від опорного колеса та перехід до керованого електроприводу, синхронізованого з системою визначення координат.

Застосування мехатронної системи керування дозволяє відслідковувати положення сівалки у просторі з високою точністю та здійснювати подачу насіння у задані точки поля незалежно від швидкості руху агрегату.

Завдяки цьому відкривається можливість реалізації адресного (координатного) висіву, при якому кожна насінина подається у чітко визначену точку відповідно до попередньо сформованої карти розміщення рослин. Такий підхід дозволяє враховувати неоднорідність ґрунтового покриття, змінювати густоту посіву залежно від умов ділянки та забезпечувати оптимальні умови живлення кожної рослини.

Важливою перевагою є те, що існуючі висівні апарати можуть бути використані як базові конструкції з подальшим удосконаленням. Зокрема, модернізація може полягати у заміні механічного приводу на електричний, інтеграції керованих приводів обертання дисків або барабанів, а також впровадженні електронних систем керування, що забезпечують дозовану подачу

насіння у відповідності до заданих координат. Такий підхід дозволяє зберегти конструктивну основу перевірених рішень і водночас значно підвищити їх функціональні можливості.

Порівняльний аналіз різних типів висівних апаратів та їх потенціалу до модернізації показує, що всі розглянуті системи можуть бути адаптовані до нових вимог за умови впровадження мехатронного керування. Це підтверджується даними, наведеними у таблиці 2.2, де узагальнено їх технічні характеристики та можливості удосконалення.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика з урахуванням можливості удосконалення

Показник	Механічні	Пневно-механічні	Пневматичні
Точність базового висіву	±20–30 %	±10–15 %	±5–10 %
Складність конструкції	Низька	Середня	Висока
Потенціал модернізації	Високий	Високий	Дуже високий
Можливість електроприводу	Реалізується	Реалізується	Реалізується
Інтеграція з мехатронікою	Можлива	Можлива	Найбільш ефективна
Реалізація адресного висіву	Можлива після удосконалення	Можлива після удосконалення	Можлива після удосконалення

З аналізу таблиці видно, що всі розглянуті типи висівних апаратів можуть бути використані як основа для створення систем адресного висіву. Найбільший потенціал для модернізації мають пневматичні апарати, однак і механічні системи можуть бути ефективно удосконалені шляхом заміни приводу та впровадження електронного керування.

Ключовим фактором є не сам тип висівного апарата, а принцип керування процесом висіву. Перехід від механічної синхронізації до координатного керування відкриває можливість використання існуючих конструкцій у нових технологічних умовах.

2.4. Висновки до розділу

1. Аналіз технології вирощування овочевих культур у відкритому ґрунті показав, що якість посіву значною мірою визначається точністю розміщення насіння, рівномірністю глибини загортання та густотою стояння рослин. Умови мостового землеробства створюють передумови для підвищення точності виконання посівної операції та реалізації адресного (координатного) висіву.

2. Дослідження конструкцій овочевих і просапних сівалок з механічними, пневмо-механічними та пневматичними висівними апаратами показало, що всі вони базуються на залежності процесу висіву від переміщення агрегату, що обмежує точність розміщення насіння.

3. Водночас встановлено, що зазначені системи мають потенціал для удосконалення. Застосування керованого електроприводу та мехатронної системи керування дозволяє здійснювати висів насіння у задані точки поля незалежно від швидкості руху.

Отже, обґрунтовано доцільність модернізації дозуючого пристрою сівалки з метою реалізації адресного висіву, що є основою подальшої розробки.

3. КОНСТРУКТИВНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

3.1. Розробка удосконаленого дозуючого пристрою сівалки

Процес висіву насіння є одним із визначальних етапів вирощування овочевих і просапних культур, оскільки саме на цьому етапі формується густота стояння рослин та їх рівномірність розміщення. Проведений у попередньому розділі аналіз показав, що існуючі сівалки не забезпечують реалізацію адресного координатного висіву у базовому виконанні, однак можуть бути удосконалені шляхом модернізації дозуючих пристроїв.

З урахуванням поставленої задачі розроблено удосконалений дозуючий пристрій, конструкція якого базується на дисковому комірковому висівному апараті з додатковим впровадженням мехатронної системи керування. Загальний вигляд сівалки з удосконаленим дозатором наведено на рисунку 3.1.

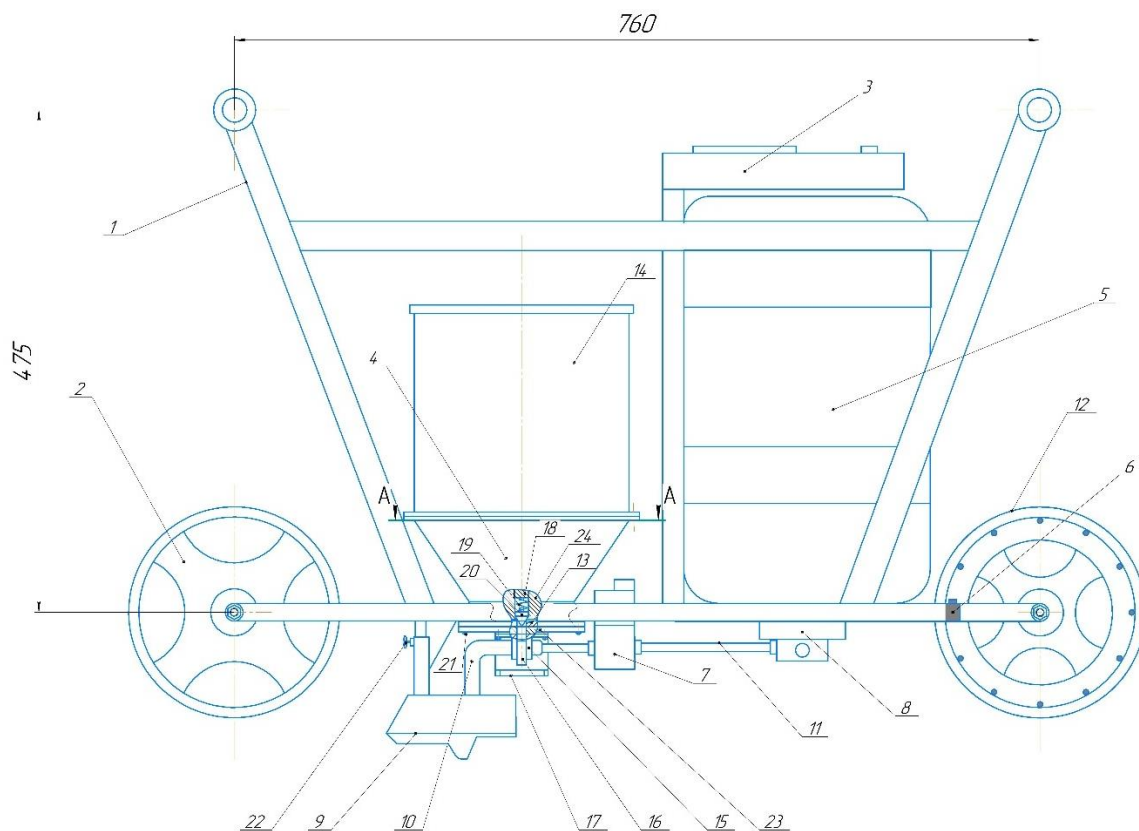


Рисунок 3.1 – Сівалка точного висіву з удосконаленим дозуючим пристроєм

Конструктивно пристрій включає бункер 14 для насіння, корпус висівного апарата, висівний диск 13 з комірками, механізм виштовхування насіння 20, насіннєпровід 10, сошник 9, а також систему приводу і блок керування 3. На відміну від традиційних конструкцій, обертання висівного диска здійснюється за допомогою крокового електродвигуна 17, що дозволяє точно регулювати його положення та частоту обертання.

Однією з ключових особливостей удосконаленого пристрою є реалізація координатного принципу висіву. Подача насіння здійснюється не залежно від механічного переміщення агрегату, а відповідно до сигналів системи керування, яка визначає положення сівалки у просторі. Це дозволяє забезпечити розміщення насіння у заданих точках поля.

На відміну від раніше розроблених конструкцій, у даному пристрої додатково реалізовано систему адаптивного керування нормою висіву. Контролер має можливість змінювати частоту подачі насіння залежно від умов конкретної ділянки поля, що задаються за допомогою карти завдань. Це дозволяє здійснювати диференційований висів і підвищувати ефективність використання посівного матеріалу.

Важливою складовою удосконалення є система контролю якості висіву. Для цього у конструкції передбачено встановлення оптичного датчика 16, який фіксує проходження насінини через насіннєпровід. Отримана інформація передається до електронного блоку керування 3, який аналізує процес висіву та дозволяє виявляти пропуски або подвійне висівання. Це забезпечує можливість коригування роботи дозуючого пристрою в режимі реального часу.

Додатково удосконалено механізм подачі насіння. Використання виштовхувача 20 у поєднанні з пневматичною системою транспортування забезпечує стабільне відділення насінини від диска та її переміщення до сошника. У конструкції передбачено можливість регулювання параметрів виштовхування, що дозволяє адаптувати пристрій до висіву насіння різних культур.

Ще однією важливою особливістю є можливість компенсації впливу швидкості руху сівалки на процес висіву. Для цього система керування враховує сигнали від датчика переміщення 6 і виконує корекцію моментів подачі насіння. Це дозволяє забезпечити стабільність інтервалів висіву навіть за змінних умов руху агрегату.

Таким чином, запропонований дозуючий пристрій поєднує простоту механічних систем із функціональними можливостями сучасних мехатронних технологій. Основною відмінністю є перехід від механічного принципу дозування до керованого процесу подачі насіння, що забезпечує реалізацію адресного висіву.

Запропонована конструкція дозволяє підвищити точність розміщення насіння, зменшити витрати посівного матеріалу та забезпечити адаптацію процесу висіву до умов конкретної ділянки поля. Це особливо актуально для використання у системах мостового землеробства, де точність виконання технологічних операцій має вирішальне значення.

Розглянемо алгоритм роботи сівалки з удосконаленим дозуючим пристроєм. Робота удосконаленого дозуючого пристрою базується на поєднанні механічного відбору насіння з керованою подачею та пневматичним транспортуванням. Технологічний процес висіву реалізується послідовно та включає ряд взаємопов'язаних етапів.

Етап 1. Заповнення комірок насінням. На початковому етапі насіння із бункера 14 під дією сили тяжіння надходить до робочої зони висівного диска 13. У процесі обертання диска комірки заповнюються насінням, що забезпечує формування потоку для подальшого дозування.

Етап 2. Відбір насінини. Після заповнення комірок відбувається відбір одиничної насінини. Надлишкові насінини відсіюються відсікачем насіння 24, внаслідок чого у кожній комірці залишається одна насінини. Обертання висівного диска здійснюється за допомогою крокового двигуна 17, що забезпечує точне позиціонування комірок відносно зони подачі.

Етап 3. Виштовхування насінини. У зоні подачі насіння відбувається його механічне виштовхування з комірки за допомогою виштовхувача 20. Насінини потрапляє у насіннеуловлювач 15 з оптичним датчиком 16, що забезпечує її подальше транспортування. Одночасно оптичний датчик 16 фіксує факт проходження насінини, передаючи сигнал до електронного блоку керування 3, що забезпечує контроль процесу висіву.

Етап 4. Транспортування насінини. Переміщення насінини до зони висіву здійснюється через насіннєпровід 10 за сигналом з датчика переміщення 6 під дією повітряного потоку, який надходить від ресивера 5 через відкритий пневматичний електроклапан 7. Такий спосіб транспортування забезпечує стабільність руху насіння та зменшує вплив випадкових факторів.

На завершальному етапі насінини надходить у зону сошника 9, де формується борозна заданої глибини встановленої гвинтом 22. Після укладання насіння борозна закривається, а поверхня ґрунту ущільнюється прикочувальним колесом 12, що створює сприятливі умови для проростання.

Особливістю запропонованого дозуючого пристрою є використання керованого електроприводу та системи автоматичного контролю. Сигнали від датчика переміщення (інтервалів висіву) 6 дозволяють визначати момент подачі насіння залежно від положення сівалки. На відміну від традиційних систем, процес висіву не прив'язаний безпосередньо до обертання опорного колеса 2, а визначається алгоритмом роботи електронного блоку керування 3. Це забезпечує можливість реалізації координатного принципу висіву. Додатково передбачено можливість адаптивного регулювання частоти обертання висівного диска 13, що дозволяє змінювати норму висіву залежно від умов ділянки.

Запропоноване конструктивне рішення дозволяє підвищити точність висіву, забезпечити контроль подачі насіння та створює передумови для реалізації адресного координатного висіву. Для реалізації роботи сівалки за заданим алгоритмом розроблено блок-схему (рис. 3.2) та написано програмний

код (додаток А) для роботи мехатронної системи сівалки точного висіву [22-23]. Складові мехатронної системи наведено в додатку Б.

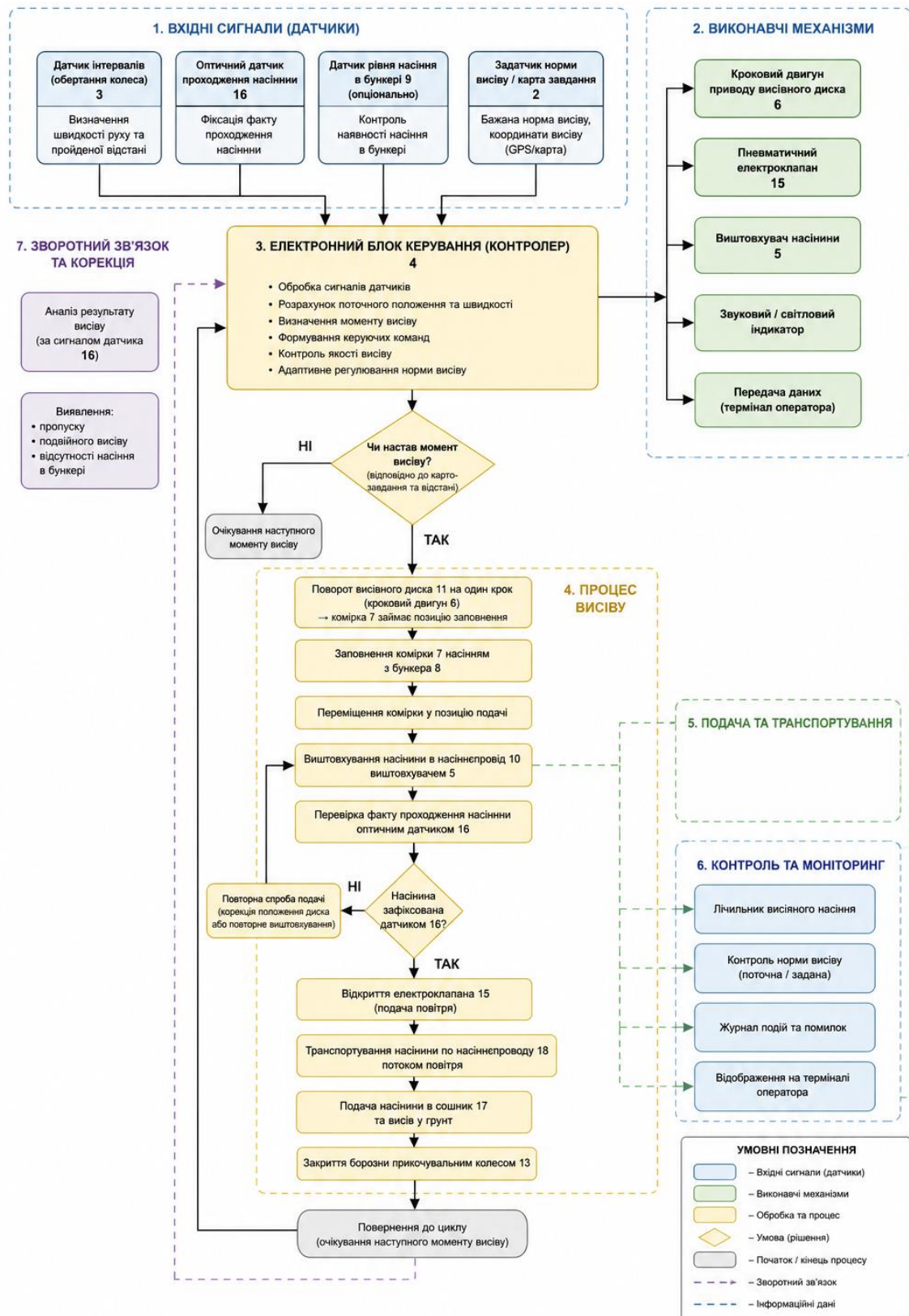


Рисунок 3.2 – Блок схема алгоритму роботи мехатронної системи

3.2. Мехатронна система удосконаленої сівалки

Мехатронна система удосконаленої сівалки (рис. 3.3) призначена для автоматизованого керування процесом дозування та подачі насіння відповідно до заданих параметрів висіву. Вона являє собою інтегровану структуру, що поєднує сенсорні, керуючі, виконавчі та інформаційні елементи в єдину функціональну систему.

На відміну від традиційних механічних систем, у яких процес висіву визначається кінематичними зв'язками, запропонована мехатронна система забезпечує керування подачею насіння на основі обробки сигналів від датчиків та реалізації заданого алгоритму роботи. Це дозволяє підвищити точність висіву та створює передумови для реалізації координатного принципу розміщення насіння.

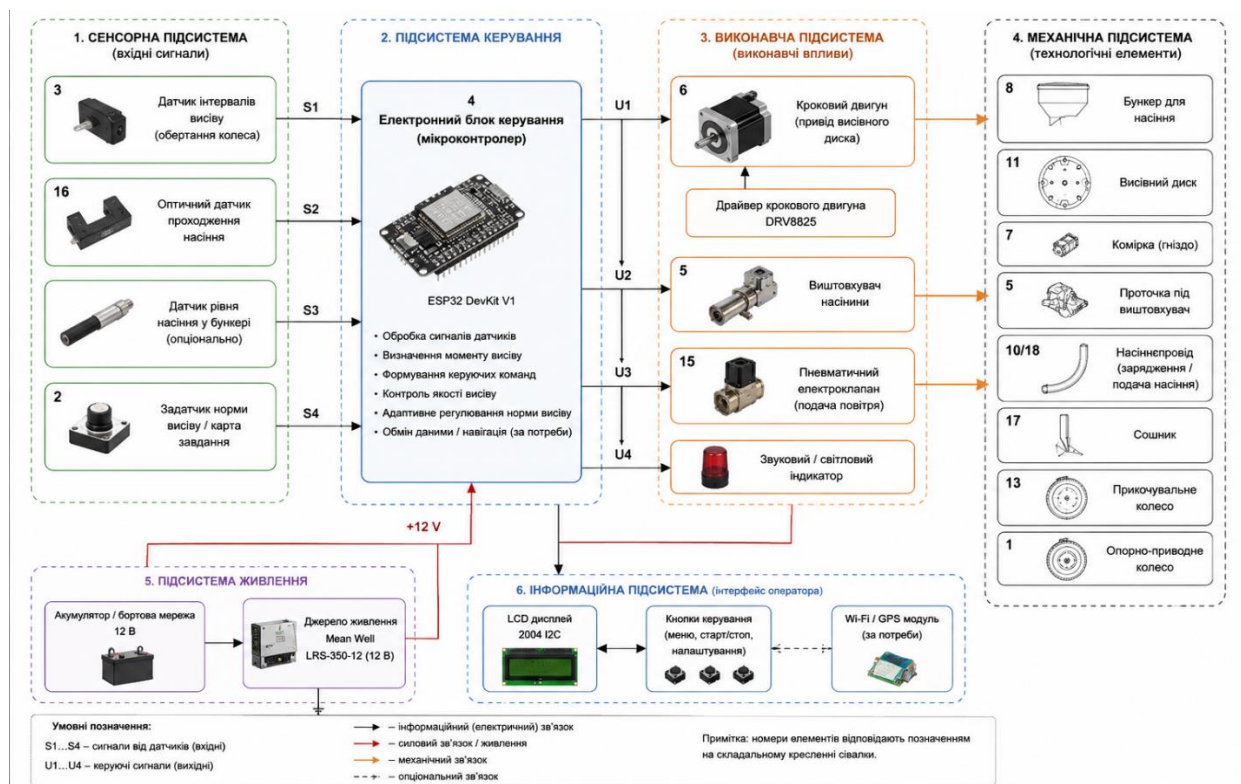


Рисунок 3.3 – Структурна схема мехатронної системи сівалки

Сенсорна підсистема. Сенсорна підсистема забезпечує збір інформації про стан технологічного процесу та параметри руху сівалки. До її складу входять датчик інтервалів висіву 3, який фіксує переміщення агрегату, а також оптичний датчик 16, що контролює проходження насіння через насіннєпровід.

Додатково може використовуватися датчик рівня насіння у бункері, що дозволяє контролювати наявність посівного матеріалу та попереджати про необхідність його поповнення. Сигнали від сенсорів передаються до блоку керування для подальшої обробки.

Підсистема керування. Центральним елементом мехатронної системи є електронний блок керування 4, реалізований на базі мікроконтролера типу ESP32 DevKit V1. Даний блок забезпечує обробку вхідних сигналів, визначення моменту висіву та формування керуючих впливів на виконавчі елементи.

Алгоритм роботи системи передбачає аналіз сигналів від датчика переміщення, визначення інтервалів висіву та керування роботою приводу висівного диска. Крім того, блок керування здійснює контроль якості висіву, фіксуючи пропуски або відхилення у подачі насіння.

Виконавча підсистема. Виконавча підсистема забезпечує реалізацію команд, що формуються блоком керування. Основним елементом є кроковий електродвигун типу NEMA 17 42BYGH48, який приводить у рух висівний диск 11.

Керування двигуном здійснюється через драйвер DRV8825 stepper driver, що дозволяє забезпечити точне позиціонування диска та плавність його обертання.

Для подачі насіння у сошник використовується пневматичний електроклапан 2W025-08 solenoid valve, який формує потік повітря для транспортування насіння через насіннєпровід.

Механічна підсистема. Механічна підсистема включає конструктивні елементи сівалки, які забезпечують фізичну реалізацію процесу висіву. До них

належать бункер для насіння 8, висівний диск 11 з комірками 7, механізм виштовхування 5, насіннєпровід 18, сошник 17 та прикочувальне колесо 13.

Вказані елементи забезпечують формування, транспортування та укладання насіння у ґрунт.

Підсистема живлення та індикації. Для забезпечення роботи електронних та виконавчих елементів використовується джерело живлення типу Mean Well LRS-350-12, яке забезпечує стабільну напругу для всіх компонентів системи.

Взаємодія оператора з системою здійснюється за допомогою інтерфейсу на базі дисплея LCD 2004 I2C, який відображає основні параметри роботи сівалки та дозволяє здійснювати налаштування режимів висіву.

Таким чином, мехатронна система сівалки є комплексною структурою, що об'єднує сенсорні, керуючі, виконавчі та механічні елементи в єдину систему. Її застосування дозволяє забезпечити автоматизоване керування процесом висіву, підвищити його точність та реалізувати координатний принцип подачі насіння.

Використання сучасних електронних компонентів та керованих приводів створює передумови для подальшого розвитку систем точного землеробства та впровадження інтелектуальних технологій у процес висіву.

3.3. Розрахунок параметрів дозуючого пристрою сівалки

Розрахунок параметрів дозуючого пристрою виконується за загальноприйнятими методиками [24-26] з метою визначення режимів його роботи, що забезпечують задану точність висіву насіння при різних інтервалах розміщення рослин у рядку. Особливістю розробленого пристрою є можливість роботи у широкому діапазоні норм висіву, що досягається за рахунок використання керованого електроприводу.

Для розрахунку приймаємо такі вихідні дані: швидкість руху сівалки становить 2 м/с, інтервал висіву змінюється в межах від 0,05 до 0,50 м, а кількість комірок висівного диска дорівнює 12.

Визначення частоти висіву насіння

Частота висіву характеризує кількість насінин, що подаються у ґрунт за одиницю часу, і залежить від швидкості руху сівалки та заданого інтервалу між насінинами.

Вона визначається за наступною залежністю:

$$f = \frac{v}{l} \quad (3.1)$$

де f – частота висіву, нас/с;

v – швидкість руху сівалки, м/с;

l – інтервал між насінинами, м.

Підставляючи граничні значення інтервалу висіву, визначимо діапазон частоти.

Для мінімального інтервалу $l = 0,05$ м:

$$f_{max} = \frac{2}{0,05} = 40 \text{ нас/с}$$

Для максимального інтервалу $l = 0,50$ м:

$$f_{min} = \frac{2}{0,50} = 4 \text{ нас/с}$$

Визначення частоти обертання висівного диска

Частота обертання висівного диска визначається кількістю комірок, через які здійснюється подача насіння, та частотою висіву.

Вона визначається за формулою:

$$n = \frac{f}{z} \quad (3.2)$$

де n – частота обертання диска, об/с;

f – частота висіву, нас/с;

z – кількість комірок на диску.

Для максимального режиму роботи:

$$n_{max} = \frac{40}{12} = 3,33 \text{ об/с}$$

$$n_{max} = 3,33 \cdot 60 = 200 \text{ об/хв}$$

Для мінімального режиму:

$$n_{min} = \frac{4}{12} = 0,33 \text{ об/с}$$

$$n_{min} = 0,33 \cdot 60 = 20 \text{ об/хв}$$

Визначення частоти імпульсів керування двигуном

Кроковий двигун здійснює обертання диска за рахунок подачі імпульсів керування. Частота цих імпульсів залежить від частоти обертання диска та кількості кроків двигуна на один оберт.

Залежність визначається за формулою:

$$f_{step} = n \cdot N \tag{3.3}$$

де f_{step} – частота імпульсів, Гц;

n – частота обертання, об/с;

N – кількість кроків двигуна на оберт.

Для прийнятого двигуна $N = 200$ кроків.

Тоді:

$$f_{step,max} = 3,33 \cdot 200 = 666 \text{ Гц}$$

$$f_{step,min} = 0,33 \cdot 200 = 66 \text{ Гц}$$

Визначення продуктивності дозуючого пристрою

Продуктивність характеризує кількість насіння, що висівається за годину роботи сівалки.

Вона визначається за формулою:

$$Q = f \cdot 3600 \quad (3.4)$$

де Q – продуктивність, нас/год;

f – частота висіву, нас/с.

Для максимального режиму:

$$Q_{max} = 40 \cdot 3600 = 144000 \text{ нас/год}$$

Для мінімального:

$$Q_{min} = 4 \cdot 3600 = 14400 \text{ нас/год}$$

Таблиця 3.3 – Основні розрахункові параметри

Параметр	Мінімальне значення	Максимальне значення
Інтервал висіву, м	0,50	0,05
Частота висіву, нас/с	4	40
Частота обертання, об/хв	20	200
Частота імпульсів, Гц	66	666
Продуктивність, нас/год	14400	144000

У результаті проведених розрахунків встановлено, що удосконалений дозуючий пристрій забезпечує стабільну роботу у широкому діапазоні інтервалів висіву від 0,05 до 0,50 м. Отримані значення частоти обертання висівного диска та частоти імпульсів керування підтверджують можливість реалізації адаптивного керування процесом висіву.

З метою більш повного обґрунтування параметрів удосконаленого дозуючого пристрою та оцінки умов його роботи виконано додаткові розрахунки, які враховують кінематичні та динамічні характеристики системи, а також параметри переміщення насіння.

Лінійна швидкість обертання висівного диска

Визначення лінійної швидкості обертання диска дозволяє оцінити умови взаємодії насіння з поверхнею комірок та забезпечити їх стабільне утримання під час обертання. Надмірне збільшення швидкості може призводити до випадіння насіння, тоді як недостатня швидкість – до нестабільного заповнення комірок. Отже, цей параметр є важливим для забезпечення надійності процесу дозування.

Лінійна швидкість обертання диска:

$$v_d = \pi D n \quad (3.5)$$

Де v_d – лінійна швидкість точки диска, м/с;

D – діаметр диска, м;

n – частота обертання, об/с.

Приймаємо: $D = 0,2$ м, $n = 3,33$ об/с

$$v_d = 3.14 \cdot 0,2 \cdot 3,33 = 2,09 \text{ м/с}$$

Часовий інтервал між подачею насіння

Час між подачею окремих насінин визначає ритмічність роботи дозуючого пристрою. Даний параметр безпосередньо пов'язаний із частотою висіву і характеризує швидкодію системи. Його аналіз дозволяє оцінити вимоги до швидкості спрацювання виконавчих механізмів та електронних компонентів.

$$t = 1/f \quad (3.6)$$

Для максимального режиму:

$$t = \frac{1}{40} = 0,025 \text{ с}$$

Для мінімального:

$$t = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ с}$$

Кутове переміщення висівного диска

Кут повороту диска, що відповідає одній комірниці, визначає точність позиціонування висівного апарата. Даний параметр є важливим для налаштування крокового двигуна, оскільки саме він визначає необхідний кут повороту для подачі однієї насінини.

$$\varphi = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{12} = 30 \text{ град.} \quad (3.7)$$

де φ – кут повороту, град;

z – кількість комірок.

Кількість імпульсів на одну насінину

Визначення кількості імпульсів керування, необхідних для подачі однієї насінини, дозволяє узгодити роботу електроприводу з геометрією висівного диска. Цей параметр використовується при програмуванні системи керування та забезпечує точне дозування насіння.

$$N_1 = N/z \quad (3.8)$$

Де N_1 – імпульсів на одну насінину;

N – кроків двигуна на оберт, $N=200$;

$$N_1 = \frac{200}{12} = 16,7 \approx 17 \text{ імпульсів}$$

Крутний момент на валу висівного диска.

Розрахунок крутного моменту дозволяє визначити зусилля, необхідне для обертання диска з урахуванням опору насіння, тертя в підшипниках та інших факторів. Отримане значення є основою для вибору електродвигуна та перевірки його працездатності в заданих умовах.

Для вибору двигуна необхідно визначити момент, що прикладається до диска.

$$M = F \cdot r \quad (3.9)$$

де M – крутний момент, Н·м;

F – сила опору;

r – радіус диска.

Приймаємо: $F=5$ Н, $r=0,1$ м:

$$M = 5 \cdot 0,1 = 0,5 \text{ Нм}$$

Потужність приводу. Потужність електроприводу визначає енергетичні витрати на роботу дозуючого пристрою. Вона залежить від крутного моменту та швидкості обертання і дозволяє обґрунтувати вибір джерела живлення та виконавчих елементів системи.

Потужність двигуна визначається через момент та кутову швидкість.

$$P = M \cdot \omega = P = 0,5 \cdot 20,9 = 10,45 \text{ Вт} \quad (3.10)$$

де P – потужність, Вт;

ω – кутова швидкість, рад/с.

Кутова швидкість обертання

Кутова швидкість є кінематичною характеристикою обертального руху і використовується для переходу від частоти обертання до енергетичних параметрів системи. Вона необхідна для розрахунку потужності та аналізу динаміки роботи приводу.

Кутова швидкість визначається через частоту обертання.

$$\omega = 2\pi n \quad (3.11)$$

$$\omega = 2 \cdot 3,14 \cdot 3,33 = 20,9 \text{ рад/с}$$

Час транспортування насіння

Час переміщення насінини по насіннєпроводу визначає затримку між моментом подачі та фактичним укладанням у ґрунт. Цей параметр є критичним для реалізації координатного висіву, оскільки він повинен враховуватися системою керування для забезпечення точного позиціонування насіння.

Час руху насіння по трубці впливає на точність укладання.

$$t_{tr} = \frac{L}{v_{seed}} \quad (3.12)$$

де t_{tr} – час транспортування, с;

L – довжина трубки, м;

v_{seed} – швидкість насіння.

$$L = 0,3\text{м}, v_{seed} = 4\text{м}$$

$$t_{tr} = \frac{0,3}{4} = 0,075\text{ с}$$

Визначення часу заряджання та повного циклу роботи

Час заряджання (захоплення та дозування насіння)

Час заряджання насіння включає період, необхідний для заповнення комірки висівного диска та формування однозернового потоку. Цей процес відбувається під час повороту диска на кут, що відповідає одній комірці.

Для визначення часу заряджання використовується залежність:

$$t_{ch} = \frac{1}{n \cdot z} \quad (3.13)$$

де t_{ch} – час заряджання, с;

n – частота обертання диска, об/с;

z – кількість комірок.

Підстановка (максимальний режим)

$$n = 3,33\text{ об/с}, \quad z = 12$$

$$t_{ch} = \frac{1}{3,33 \cdot 12} = \frac{1}{40} = 0,025\text{с}$$

Загальний час циклу висіву

Повний цикл роботи дозуючого пристрою включає: заряджання насіння, транспортування, подачу в ґрунт.

Загальний час циклу визначається як:

$$t_{cycle} = t_{ch} + t_{tr} \quad (3.14)$$

де t_{cycle} – повний час циклу, с.

Підстановка:

$$\begin{aligned} t_{ch} &= 0,025 \text{ с}, \quad t_{tr} = 0,075 \text{ с} \\ t_{cycle} &= 0,025 + 0,075 = 0,10 \text{ с} \end{aligned}$$

Визначення продуктивності секції сівалки

Продуктивність однієї висівної секції визначається як кількість насінин, що подаються за одиницю часу:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{1}{t_{cycle}} \\ Q_1 &= \frac{1}{0,10} = 10 \text{ нас/с} \end{aligned} \quad (3.15)$$

Продуктивність у годину:

$$Q_1 = f \cdot 3600 \quad (3.16)$$

$$Q_1 = 10 \cdot 3600 = 36000 \text{ нас/год}$$

Загальна продуктивність сівалки

Для багаторядної сівалки продуктивність визначається як:

$$Q = Q_1 \cdot m \quad (3.17)$$

де m – кількість секцій.

Підстановка

$$m = 4$$

$$Q = 36000 \cdot 4 = 144000 \text{ нас/год}$$

Продуктивність по площі

Площа обробітку визначається за формулою:

$$F = B \cdot v \quad (3.18)$$

де B – ширина захвату, м;

v – швидкість руху, м/с.

При ширині захвату 2 м продуктивність сівалки по площі визначається швидкістю руху, яка, у свою чергу, залежить від заданого інтервалу висіву. Зв'язок між швидкістю руху та інтервалом визначається залежністю:

$$v = f \cdot l \quad (3.19)$$

де v – швидкість руху сівалки, м/с;

f – частота подачі насіння, нас/с;

l – інтервал висіву, м.

Для мінімального інтервалу 5 см:

$$l = 0,05 \text{ м}$$

$$v = 10 \cdot 0,05 = 0,5 \text{ м/с}$$

Продуктивність по площі:

$$F = 2 \cdot 0,5 = 1 \text{ м}^2/\text{с}$$

$$F = 3600 \text{ м}^2/\text{год} = 0,36 \text{ га/год}$$

Для максимального інтервалу 0,50 м:

$$l = 0,5 \text{ м}$$

$$v = 10 \cdot 0,5 = 5 \text{ м/с}$$

Продуктивність:

$$F = 2 \cdot 5 = 10 \text{ м}^2/\text{с} \Rightarrow 3,6 \text{ га/год}$$

Таким чином, при сталій частоті подачі насіння 10 насінин/с швидкість руху сівалки змінюється пропорційно інтервалу висіву в межах від 0,5 до 5 м/с. Це забезпечує зміну продуктивності сівалки по площі від 0,36 до 3,6 га/год.

Отримані результати підтверджують, що удосконалений дозуючий пристрій дозволяє гнучко регулювати продуктивність агрегату за рахунок зміни швидкості руху без зміни режиму роботи висівного апарата.

У результаті розрахунків встановлено, що час заряджання насіння становить 0,025 с, а повний цикл роботи дозуючого пристрою – 0,10 с. Це забезпечує продуктивність однієї секції на рівні 36000 насінин/год, а для сівалки з чотирма секціями – 144000 насінин/год.

При ширині захвату 2 м і швидкості руху 0,5-5 м/с продуктивність сівалки коливається від 0,36 до 3,6 га/год в залежності від інтервалу висіву культур, що відповідає вимогам сучасних технологій точного висіву.

3.4. Розрахунок приводу висівного апарата

Для розрахунку приводу приймаємо:

- частота обертання диска: $n=3,33 \text{ об/с}$ (200 об/хв)
- діаметр диска: $D=0,2 \text{ м}$
- радіус: $r=0,1 \text{ м}$
- сила опору (тертя + насіння): $F=5 \text{ Н}$

Визначення крутного моменту, кутової швидкості і потужності

Крутний момент, швидкість і потужність приймаємо згідно попередньо проведеного розрахунку пункт 3.3 згідно умов здатності двигуном обертати висівний диск заданою кутовою швидкістю:

- відповідно крутний момент повинен становити $M=0,5 \text{ Нм}$
- кутова швидкість $\omega=20,9 \text{ рад/с}$
- потужність $P=10,45 \text{ Вт}$

Врахування коефіцієнта запасу

Для надійної роботи приводу вводиться коефіцієнт запасу:

$$k = 2 \div 3$$

Приймаємо: $k=2,5$

Тоді:

$$P_{req} = k \cdot P = 10,45 \cdot 2,5 = 26,1 \text{ Вт} \quad (3.21)$$

Вибір двигуна

На основі отриманих розрахунків обираємо кроковий двигун типу: NEMA 17

Основні параметри:

- крутний момент: $0,6 \text{ Н}\cdot\text{м}$
- потужність: до 40 Вт
- крок: $1,8^\circ$

Перевірка двигуна по моменту

Умова працездатності:

$$M_{дв} \geq M_{розр} \quad (3.22)$$

$$0,5 \leq 0,6 \text{ Н}\cdot\text{м} \quad \text{умова виконується}$$

Перевірка по потужності:

$$P_{\text{ДВ}} \geq P_{\text{req}}$$

$$40 \text{ Вт} > 26,1 \text{ Вт} \quad \text{двигун підходить}$$

У результаті розрахунку встановлено, що для приводу висівного диска необхідний крутний момент становить 0,5 Н·м, а потужність – 26,1 Вт з урахуванням запасу. Обраний кроковий двигун типу NEMA 17 забезпечує необхідні параметри та гарантує стабільну роботу дозуючого пристрою.

3.5. Розрахунок висівної частини сівалки

Розрахунок пневматичного клапана

Пневматичний клапан використовується для подачі імпульсу повітря, який транспортує насінину через насіннєпровід.

Приймаємо:

- довжина трубки: $L=0,3 \text{ м}$
- внутрішній діаметр: $d=0,01 \text{ м}$
- швидкість повітря: $v=10 \text{ м/с}$
- густина повітря: $\rho=1,2 \text{ кг/м}^3$
-

Визначення витрати повітря

Об'ємна витрата визначається як:

$$Q = v \cdot A \quad (3.23)$$

Де A – площа перерізу трубки.

Обчислюємо площу:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad (3.24)$$

$$A = \frac{3.14 \cdot (0.01)^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Тоді витрата:

$$Q = 10 \cdot 7,85 \cdot 10^{-5} = 7,85 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3/\text{с}$$

Визначення масової витрати:

$$\dot{m} = \rho \cdot Q \quad (3.25)$$

$$\dot{m} = 1.2 \cdot 0,000785 = 0,00094 \text{ кг/с}$$

Визначення необхідного тиску

Для переміщення насінини приймаємо:

$$p = 0,1 \div 0,3 \text{ МПа}$$

Приймаємо: $p=0,2 \text{ МПа}$

Визначення пропускної здатності клапана

Для оцінки клапана використовується коефіцієнт витрати:

$$Q = C \cdot \sqrt{\Delta p} \quad (3.26)$$

де C – коефіцієнт пропускної здатності.

Приблизна оцінка:

$$C \approx \frac{Q}{\sqrt{p}} = \frac{0.000785}{\sqrt{0.2}} \approx 0,00175 \quad (3.27)$$

Вибір електроклапана з врахуванням проведених розрахунків, обираємо клапан 2W025-08 (12V DC). Основні параметри: напруга живлення: 12 В (LiFePO₄), тиск: 0–0,8 МПа, діаметр проходу: 8 мм, час спрацювання: < 0.05 с, споживана потужність: 8–10 Вт.

Перевірка по живленню акумулятор LiFePO₄ 12 В

Струм клапана:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{10}{12} = 0.83 \text{ А} \quad (3.28)$$



Рисунок 3.3 – Електроклапан 2W025-08

У результаті розрахунку встановлено, що для забезпечення транспортування насіння необхідна витрата повітря становить $0,000785 \text{ м}^3/\text{с}$ при тиску $0,2 \text{ МПа}$. Обраний електромагнітний клапан 2W025-08 з напругою живлення 12 В відповідає необхідним параметрам і забезпечує стабільну роботу пневматичної системи.

Визначення швидкості виштовхування насіння

Швидкість руху насінини у насіннєпроводі визначається параметрами повітряного потоку, який формується пневматичною системою. У першому наближенні можна вважати, що швидкість насіння наближається до швидкості повітряного потоку.

Отже:

$$v_{seed} \approx v_{air} \dots \quad (3.29)$$

Прийнято:

$$v_{air} = 10 \text{ м/с}$$

Оцінка кінетичної енергії насінини

Для оцінки можливості рекошету визначається кінетична енергія насінини.

$$E = \frac{mv^2}{2} \quad (3.30)$$

де m – маса насінини (приймаємо $m=0,000005$ кг)

Підстановка:

$$E = \frac{0,000005 \cdot 10^2}{2} = \frac{0,000005 \cdot 100}{2} = 0,00025 \text{ Дж}$$

Аналіз впливу швидкості

Отримане значення енергії свідчить, що при швидкості 10 м/с насінина має достатню енергію для відскоку від дна борозни або стінок сошника. Це призводить до:

- нерівномірного розміщення насіння;
- зміщення від заданої координати;
- погіршення умов проростання.

Таким чином, необхідно зменшити швидкість насіння перед його укладанням у ґрунт.

Оптимальна швидкість укладання насіння

Для стабільного укладання без рекошету приймається:

$$v_{opt} = 2 \div 4 \text{ м/с}$$

Приймаємо: $v_{opt} = 3 \text{ м/с}$

Коефіцієнт зниження швидкості

Для визначення необхідного ступеня зменшення швидкості вводиться коефіцієнт:

$$k = \frac{v_{in}}{v_{out}} \quad (3.31)$$

$$k = \frac{10}{3} = 3,3$$

Способи зниження швидкості насіння

Для забезпечення необхідної швидкості укладання запропоновано використання дифузору у нижній частині насіннєпроводу.

Розширення каналу призводить до зменшення швидкості потоку:

$$v_2 = v_1 \cdot \frac{A_1}{A_2} \quad (3.32)$$

ефект: зниження швидкості, стабілізація потоку

Вихідні дані:

- початкова швидкість: $v_1=10$ м/с
- необхідна швидкість: $v_2=3$ м/с
- початковий діаметр трубки: $d_1=0,01$ м

Визначення площі перерізу

Площа початкового перерізу:

$$A_1 = \frac{\pi d_1^2}{4}, \text{ м}^2 \quad (3.33)$$

$$A_1 = \frac{3,14 \cdot (0,01)^2}{4} = 7,85 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$$

Визначення площі вихідного перерізу

Згідно рівняння нерозривності потоку:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.34)$$

Звідси:

$$A_2 = \frac{7,85 \cdot 10^{-5} \cdot 10}{3} = 2,62 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

Визначення вихідного діаметра:

$$d_2 = \sqrt{\frac{4A_2}{\pi}} \quad (3.35)$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot 2,62 \cdot 10^{-4}}{3,14}} = 0,0183 \text{ м} \approx 18 \text{ мм}$$

Визначення кута розширення дифузора

Для уникнення турбулентності кут повинен бути: $\alpha = 5^\circ \div 10^\circ$

Приймаємо: $\alpha = 7^\circ$

Визначення довжини дифузора

Геометрично:

$$L = \frac{d_2 - d_1}{2 \tan \alpha} \quad (3.36)$$

$$L = \frac{0,018 - 0,01}{2 \cdot \tan 7^\circ} = 0,033 \text{ м} = 33 \text{ мм}$$

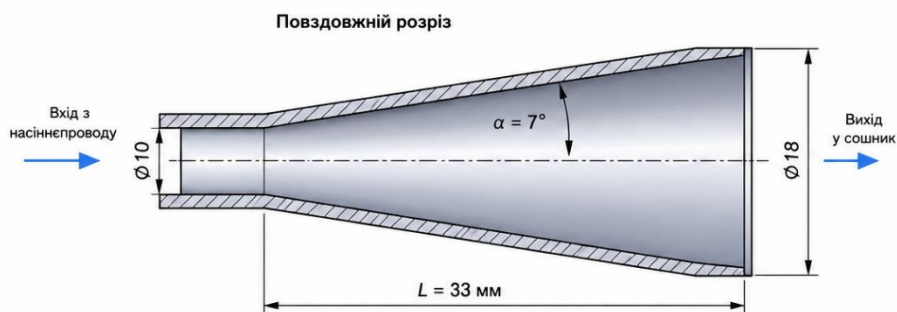


Рисунок 3.3 – Дифузор

Таблиця 3.2 – Результати розрахунку дифузора

Параметр	Значення
Початковий діаметр	10 мм
Кінцевий діаметр	18 мм
Довжина дифузора	33 мм
Кут розширення	7°
Зниження швидкості	10 → 3 м/с

У результаті розрахунку встановлено, що для зниження швидкості насіння з 10 м/с до 3 м/с необхідно застосувати дифузор із розширенням діаметра від 10 до 18 мм. Оптимальна довжина дифузора становить 33 мм при куті розширення 7°, що забезпечує плавне зниження швидкості без виникнення турбулентності.

3.6 Розрахунок на міцність складових удосконаленої сівалки

Розрахунок на міцність виконується згідно відомих методик [27, 28] з метою перевірки працездатності основних елементів конструкції сівалки при дії навантажень, що виникають у процесі роботи.

Найбільш навантаженими елементами є:

- рама сівалки
- кріплення висівного апарата
- сошник
- елементи приводу

Матеріал конструкції: Сталь 45

Механічні характеристики: $\sigma_{\text{доп}} = 160 \div 200 \text{ МПа}$

Приймаємо: $\sigma_{\text{доп}} = 180 \text{ МПа}$

Розрахунок навантаження на раму

Загальна маса секції: $m=80$ кг

Сила що діє на складові сівалки :

$$F=mg \quad (3.37)$$

$$F = 80 \cdot 9,81 = 785 \text{ Н}$$

З урахуванням динамічного коефіцієнта $k_d = 1,5$

$$Fd = F \cdot k_d \quad (3.38)$$

$$F = 785 \cdot 1,5 = 1178 \text{ Н}$$

Розрахунок згинального моменту

Приймаємо довжину консолі: $l=0.5$ м

$$M = Fd \cdot l, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (3.39)$$

$$M = 1178 \cdot 0,5 = 589 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

Розрахунок напруження

Напруження визначається:

$$\sigma = \frac{M}{W} \quad (3.40)$$

Де W – момент опору.

Для прямокутного профілю:

$$W = \frac{bh^2}{6} \quad (3.41)$$

Приймаємо:

$$b = 0,04 \text{ м}, \quad h = 0,06 \text{ м}$$

$$W = \frac{0,04 \cdot (0,06)^2}{6} = \frac{0,04 \cdot 0,0036}{6} = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

Напруження:

$$\sigma = \frac{589}{2,4 \cdot 10^{-5}} = 24,5 \text{ МПа}$$

Перевірка міцності

Умова міцності:

$$\sigma \leq \sigma_{\text{доп}}$$

$$24,5 < 180 \text{ МПа} \quad \text{умова виконується}$$

Розрахунок сошника

Сошник працює на стиск і згин.

Приймаємо силу:

$$F = 300 \text{ Н}$$

Площа: $A = 0,0002 \text{ м}^2$

$$\sigma = \frac{F}{A} \tag{3.42}$$

$$\sigma = \frac{300}{0,0002} = 1,5 \text{ МПа} \quad \text{значно менше допустимого}$$

Розрахунок валу висівного диска

Крутне напруження:

$$\tau = \frac{M}{W_t} \tag{3.43}$$

Де^

$$W_t = \frac{\pi d^3}{16} \tag{3.44}$$

Приймаємо:

$$d = 0,01 \text{ м}$$

$$W_t = \frac{3,14 \cdot (0,01)^3}{16} = 1,96 \cdot 10^{-7}$$

$$\tau = \frac{0.5}{1,96 \cdot 10^{-7}} = 2,55 \text{ МПа}$$

У результаті проведених розрахунків встановлено, що всі основні елементи конструкції удосконаленої сівалки працюють із значним запасом міцності. Максимальні напруження не перевищують допустимих значень для обраного матеріалу, що підтверджує надійність та працездатність конструкції.

3.7. Висновки до розділу

У розділі обґрунтовано параметри удосконаленої сівалки точного висіву з мехатронною системою керування. Встановлено, що цикл роботи дозуючого пристрою становить 0,10 с, що забезпечує стабільну подачу 10 насінин/с і продуктивність 36000 насінин/год на секцію.

Доведено, що при сталому режимі дозування швидкість руху сівалки змінюється залежно від інтервалу висіву: від 0,5 м/с (0,36 га/год) при 5 см до 4–5 м/с (2,88–3,6 га/год) при 40–50 см.

Обґрунтовано застосування пневматичної системи та визначено необхідність зниження швидкості насіння з 10 до 2–4 м/с для усунення рекошету, що досягається використанням дифузора.

Розрахунки приводу та перевірка на міцність підтвердили працездатність і надійність конструкції.

Отримані результати свідчать про ефективність запропонованої сівалки та її відповідність вимогам точного землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

4.1. Аналіз умов праці при виконанні посівних робіт

Умови праці при виконанні посівних робіт у сільському господарстві характеризуються сукупністю виробничих факторів, які впливають на безпеку, працездатність та здоров'я оператора [29, 30]. Традиційно посів виконується за допомогою тракторних агрегатів, що працюють у польових умовах, де на працівника діє значна кількість несприятливих факторів.

До основних умов виконання посівних робіт належать відкритий характер робочого середовища, залежність від погодних умов, нерівність поверхні поля та необхідність тривалого перебування оператора у зоні дії техніки. У процесі роботи оператор зазнає впливу вібрацій, шуму, пилу, а також температурних коливань, що можуть призводити до зниження працездатності та підвищення рівня втомлюваності.

Одним із суттєвих факторів є вібраційне навантаження, яке виникає під час руху агрегату по нерівному ґрунту. Тривалий вплив вібрацій негативно впливає на опорно-руховий апарат та загальний стан організму. Крім того, робота двигуна та рухомих механізмів створює підвищений рівень шуму, що може перевищувати допустимі санітарні норми.

Важливим фактором є також запиленість повітря, яка виникає під час обробітку ґрунту та переміщення агрегату. Пилові частинки можуть містити мікроорганізми та хімічні домішки, що негативно впливають на органи дихання працівника.

Умови праці ускладнюються необхідністю контролю роботи сівалки, регулювання її параметрів та спостереження за процесом висіву. У традиційних конструкціях значна частина операцій виконується вручну, що

підвищує навантаження на оператора та створює додаткові ризики травмування.

Впровадження мостової технології землеробства змінює умови виконання посівних робіт. Завдяки руху агрегату по жорстких напрямних забезпечується стабільність положення машини, зменшується вплив нерівностей поля та знижується рівень вібрацій. Крім того, використання електроприводів і мехатронних систем керування дозволяє автоматизувати процес висіву, що зменшує фізичне навантаження на оператора.

Разом із тим поява нових технічних рішень зумовлює виникнення специфічних факторів, пов'язаних із використанням електрообладнання, пневматичних систем та автоматизованих пристроїв. Це вимагає додаткового аналізу умов праці та розробки відповідних заходів безпеки.

Таким чином, умови праці при виконанні посівних робіт характеризуються наявністю комплексу несприятливих факторів, однак застосування сучасних мехатронних систем та мостової технології дозволяє суттєво покращити безпеку та комфорт роботи оператора.

4.2. Потенційні небезпеки та шкідливі фактори

Під час виконання посівних робіт із використанням удосконаленої овочевої сівалки з мехатронною системою керування на працівника можуть діяти різноманітні небезпечні та шкідливі виробничі фактори. Їх характер визначається як умовами виконання робіт, так і конструктивними особливостями застосованого обладнання.

До небезпечних факторів, що можуть призвести до травмування, належать рухомі елементи сівалки, зокрема висівний диск, привідні механізми, вали та передавальні вузли [30]. При відсутності належного захисту або порушенні правил експлуатації можливе захоплення одягу чи

частин тіла оператора, що створює ризик травмування. Особливо небезпечними є роботи з технічного обслуговування та регулювання агрегату при увімкненому приводі.

Застосування електроприводу та електронного блоку керування зумовлює появу електричних факторів безпеки. До них належать можливість ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції, короткого замикання або порушення правил експлуатації акумуляторної батареї типу LiFePO_4 . Додаткову небезпеку становить використання електромагнітних клапанів і силових елементів керування.

Пневматична система подачі насіння також є джерелом потенційної безпеки. Наявність стисненого повітря під тиском може призвести до травм у разі розгерметизації системи, пошкодження трубопроводів або неконтрольованого викиду повітря. Крім того, високошвидкісний потік повітря здатен переносити тверді частинки, що підвищує ризик травмування очей.

До шкідливих виробничих факторів належить підвищений рівень шуму, який створюється роботою електроприводів, компресорного обладнання та механічних вузлів. Тривалий вплив шуму може негативно впливати на слух та загальний стан працівника.

Вібраційні навантаження виникають у процесі руху агрегату та роботи окремих механізмів. Хоча використання мостової технології дозволяє частково знизити рівень вібрацій, їх вплив повністю не усувається.

Також слід враховувати запиленість робочого середовища, яка виникає при роботі на відкритому ґрунті. Пил може містити мікрочастинки ґрунту та залишки агрохімікатів, що негативно впливають на органи дихання.

До додаткових факторів належать несприятливі метеорологічні умови, такі як висока або низька температура повітря, підвищена вологість, вітер та сонячне випромінювання, які впливають на умови праці оператора.

Таким чином, аналіз показує, що при виконанні посівних робіт має місце комплекс небезпечних і шкідливих факторів, що потребує впровадження відповідних заходів з охорони праці та техніки безпеки.

Таблиця 4.1 - Потенційні небезпеки та шкідливі фактори

№	Фактор	Джерело виникнення	Характер впливу	Можливі наслідки
1	Рухомі частини машин	Висівний диск, привід, вали, механізми	Механічний	Травмування, зтягування одягу
2	Електричний струм	Електропривід, блок керування, акумулятор LiFePO ₄	Електричний	Ураження струмом, опіки
3	Пневматичний тиск	Повітряні магістралі, клапан, компресор	Механічний (тиск)	Травми при розгерметизації, викид повітря
4	Шум	Двигуни, приводи, компресор	Акустичний	Зниження слуху, втома
5	Вібрація	Рух агрегату, робота механізмів	Механічний	Порушення опорно-рухового апарату
6	Запиленість повітря	Обробіток ґрунту, рух техніки	Хімічний/біологічний	Захворювання органів дихання
7	Висока/низька температура	Відкрите середовище	Кліматичний	Перегрів, переохолодження
8	Сонячне випромінювання	Робота на відкритому полі	Фізичний	Тепловий удар, опіки
9	Підвищене навантаження	Контроль і обслуговування сівалки	Фізичний	Втома, зниження працездатності
10	Автоматизовані системи	Мехатронна система керування	Комбінований	Помилки керування, ризик травм

4.3. Заходи з підвищення безпеки праці

Підвищення безпеки праці при виконанні посівних робіт із застосуванням удосконаленої овочевої сівалки досягається шляхом впровадження комплексу організаційних, технічних та санітарно-гігієнічних заходів, спрямованих на усунення або зниження впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів (рис. 4.1).

До основних технічних заходів належить забезпечення захисту рухомих частин машин. Привідні механізми, вали, висівний диск та інші елементи повинні бути обладнані захисними кожухами, що унеможливають випадковий контакт оператора з небезпечними зонами. Конструкція кожухів має забезпечувати швидкий доступ для обслуговування при одночасному збереженні високого рівня безпеки.

Важливим напрямом є забезпечення електробезпеки. Усі елементи електричної системи повинні мати надійну ізоляцію, а корпуси – заземлення. Акумуляторні батареї типу LiFePO₄ необхідно встановлювати у спеціальних захищених відсіках із урахуванням вимог пожежної безпеки. Електричні кола повинні бути обладнані запобіжниками та пристроями захисту від короткого замикання і перевантаження.

Для підвищення безпеки пневматичної системи необхідно забезпечити герметичність з'єднань, використання шлангів, розрахованих на відповідний тиск, а також встановлення запобіжних клапанів. Перед проведенням технічного обслуговування система повинна бути розгерметизована.

Суттєвим фактором є автоматизація процесів. Використання мехатронної системи керування дозволяє зменшити участь оператора у виконанні технологічних операцій, що знижує ризик травмування. Доцільним є впровадження систем аварійного відключення, датчиків контролю стану системи та сигналізації про відхилення в роботі.

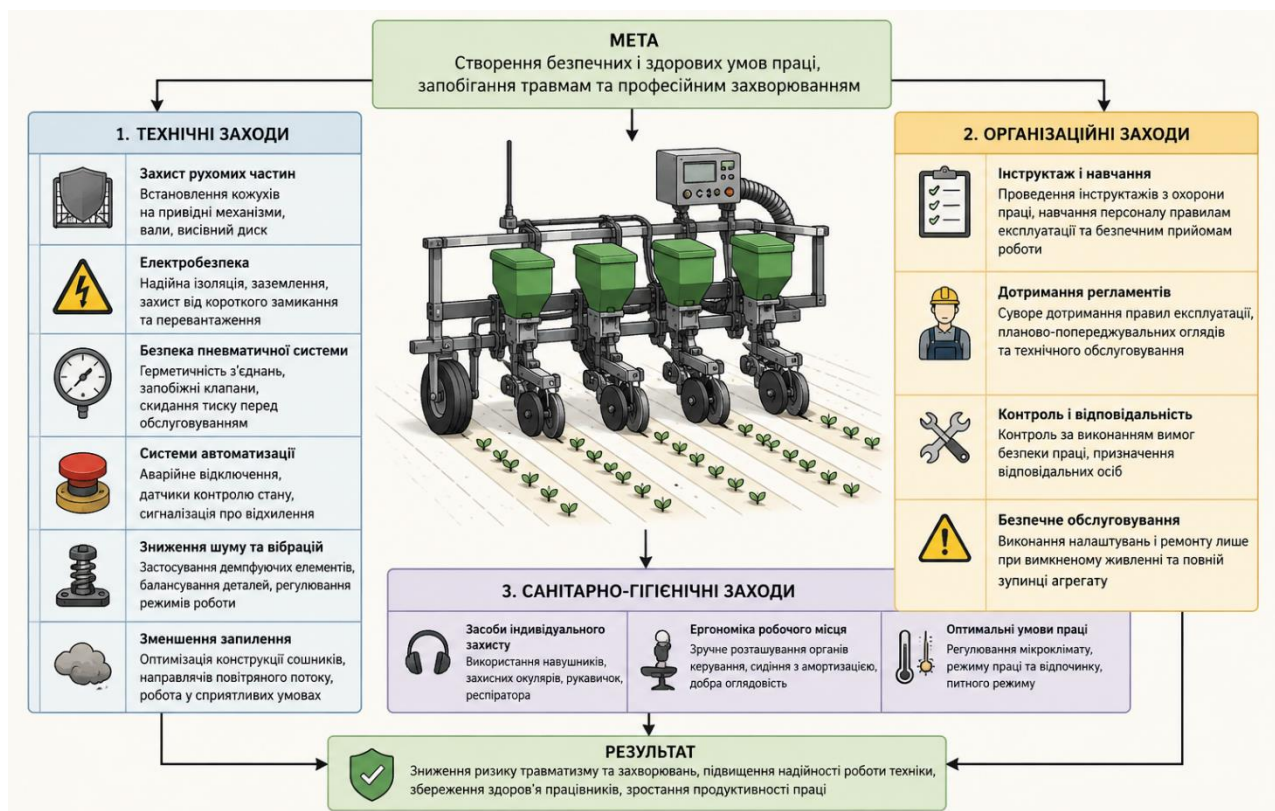


Рисунок 4.1 – Схема заходів з підвищення безпеки праці при виконанні посівних робіт

Організаційні заходи передбачають проведення інструктажів з охорони праці, навчання персоналу правилам експлуатації обладнання, а також контроль за дотриманням встановлених норм і вимог. Особливу увагу слід приділяти роботам з налаштування та обслуговування сівалки.

Для зниження впливу шкідливих факторів необхідно застосовувати засоби індивідуального захисту, зокрема захисні окуляри, рукавички та засоби захисту органів слуху і дихання. Робоче місце оператора повинно бути організоване з урахуванням ергономічних вимог.

Також доцільним є регулювання режимів роботи агрегату з метою зниження рівня шуму та вібрацій, а також використання конструктивних рішень, що зменшують запиленість повітря.

Таким чином, впровадження комплексу технічних і організаційних заходів дозволяє суттєво підвищити рівень безпеки праці при експлуатації удосконаленої сівалки та забезпечити належні умови роботи оператора.

4.4. Електробезпека мехатронної системи

Електробезпека мехатронної системи удосконаленої сівалки є важливим аспектом забезпечення безпечних умов праці оператора та надійної роботи обладнання. Система включає електронний блок керування, кроковий електродвигун, електромагнітний клапан, датчики та акумуляторну батарею типу LiFePO_4 , що працюють від напруги 12 В.

Незважаючи на відносно низьку робочу напругу, електричні елементи системи можуть становити небезпеку у разі порушення правил експлуатації, пошкодження ізоляції або виникнення короткого замикання. Особливу увагу необхідно приділяти стану електричних з'єднань, якості ізоляції провідників та захисту контактів від вологи та пилу.

Основним заходом електробезпеки є застосування надійної ізоляції всіх струмопровідних частин. Провідники повинні мати подвійне ізоляційне покриття, а з'єднання виконуватися у захищених роз'ємах. Усі електричні компоненти повинні бути розміщені в герметичних корпусах із відповідним ступенем захисту (не нижче IP54).

Для запобігання аварійним режимам роботи система повинна бути оснащена запобіжниками та автоматичними вимикачами, які відключають живлення при перевищенні допустимого струму або виникненні короткого замикання. Особливо це актуально для акумуляторної батареї, яка здатна віддавати значні струми.

Важливим елементом є правильна організація живлення від акумулятора LiFePO_4 . Батарея повинна бути обладнана системою

балансування та захисту (BMS), яка забезпечує контроль напруги, струму та температури, а також запобігає перезаряду та глибокому розряду.

Для підвищення рівня безпеки доцільно передбачити аварійне відключення живлення, яке дозволяє швидко зупинити роботу системи у разі виникнення небезпечної ситуації. Кнопка аварійного вимкнення повинна бути розташована у доступному для оператора місці.

Прокладання електропроводки повинно здійснюватися з урахуванням захисту від механічних пошкоджень, вібрацій та впливу навколишнього середовища. Для цього використовуються гофровані труби, кабель-канали та кріплення, що забезпечують надійну фіксацію проводів.

Особливу увагу слід приділяти умовам експлуатації в польових умовах, де можливий вплив вологи, пилу та температурних коливань. У зв'язку з цим необхідно забезпечити герметизацію корпусів, застосування вологостійких роз'ємів та регулярний контроль стану електрообладнання.

Таким чином, дотримання вимог електробезпеки, правильний вибір і розміщення електричних компонентів, а також використання захисних пристроїв дозволяють забезпечити безпечну експлуатацію мехатронної системи сівалки та знизити ризик аварійних ситуацій.

4.5. Пожежна безпека та охорона навколишнього середовища

Пожежна безпека при експлуатації удосконаленої овочевої сівалки з мехатронною системою керування є важливою складовою загальної системи охорони праці. Незважаючи на використання електричного приводу та акумуляторного живлення, ризик виникнення пожежі повністю не виключається, що потребує впровадження відповідних профілактичних заходів.

Основними причинами виникнення пожеж можуть бути коротке замикання в електричних колах, перегрів електрообладнання, пошкодження ізоляції проводів, а також несправності акумуляторної батареї. Особливу увагу слід приділяти правильній експлуатації акумуляторів типу LiFePO₄, які, хоча і характеризуються підвищеною безпечністю, потребують дотримання режимів заряджання та розряджання.

До основних заходів пожежної безпеки належить використання справної електропроводки, встановлення запобіжників і автоматичних вимикачів, а також регулярний контроль стану електричних з'єднань. Електронні блоки та акумулятори повинні розміщуватися у захищених корпусах, що виключають потрапляння пилу та вологи.



Рисунок 4.2 – Схема пожежної безпеки та навколишнього середовища

Сівалка повинна бути оснащена первинними засобами пожежогасіння, зокрема вогнегасником порошкового або вуглекислотного типу. Оператор повинен бути ознайомлений з правилами пожежної безпеки та вміти діяти у разі виникнення надзвичайної ситуації.

Важливим заходом є запобігання накопиченню рослинних залишків, пилу та інших легкозаймистих матеріалів на елементах машини, особливо поблизу електричних компонентів. Регулярне очищення обладнання значно знижує ризик займання.

Щодо охорони навколишнього середовища, застосування удосконаленої сівалки має ряд переваг. Використання електроприводу замість традиційних двигунів внутрішнього згоряння сприяє зниженню викидів шкідливих речовин у атмосферу. Крім того, точний висів дозволяє оптимізувати використання посівного матеріалу та зменшити навантаження на ґрунт.

Застосування мостової технології землеробства виключає ущільнення ґрунту колесами техніки, що позитивно впливає на його структуру, водопроникність та родючість. Це також сприяє зменшенню енергетичних витрат на подальший обробіток.

Разом із тим необхідно забезпечити належну утилізацію відпрацьованих елементів, зокрема акумуляторів, електронних компонентів та мастильних матеріалів. Їх утилізація повинна здійснюватися відповідно до екологічних норм і правил.

Таким чином, дотримання вимог пожежної безпеки та впровадження екологічно обґрунтованих рішень забезпечує безпечну експлуатацію сівалки та мінімізує її негативний вплив на навколишнє середовище.

4.6. Висновки до розділу

розділі проведено аналіз умов праці при виконанні посівних робіт із використанням удосконаленої овочевої сівалки з мехатронною системою керування. Встановлено наявність комплексу небезпечних і шкідливих факторів, зокрема механічних, електричних, пневматичних, а також факторів виробничого середовища.

Обґрунтовано основні заходи з підвищення безпеки праці, які включають застосування захисних конструкцій, забезпечення електро- та пневмобезпеки, автоматизацію процесів і використання засобів індивідуального захисту. Показано, що впровадження мехатронної системи дозволяє зменшити участь оператора у технологічному процесі та знизити ризик травмування.

Розглянуто питання електробезпеки, пожежної безпеки та охорони навколишнього середовища. Встановлено, що використання електроприводу та точного висіву сприяє зменшенню викидів, раціональному використанню ресурсів і зниженню негативного впливу на ґрунт.

Таким чином, запропоновані технічні рішення та заходи з охорони праці забезпечують безпечну експлуатацію сівалки, покращення умов праці оператора та відповідність сучасним вимогам екологічної безпеки.

5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

5.1. Загальні положення

Економічне обґрунтування розробки удосконаленої овочевої сівалки точного висіву з мехатронною системою керування спрямоване на визначення доцільності її впровадження у виробництво. Основною метою є оцінка економічного ефекту від підвищення точності висіву, зменшення витрат посівного матеріалу, зростання врожайності та зниження експлуатаційних витрат, пов'язаних із використанням традиційних машин.

Важливим аспектом є також визначення впливу запропонованого технічного рішення на загальну ефективність виробництва, включаючи раціональне використання ресурсів, зниження енерговитрат і підвищення продуктивності праці. У сучасних умовах розвитку точного землеробства економічна доцільність впровадження нових технологій визначається не лише прямими витратами, а й довгостроковими перевагами, пов'язаними з оптимізацією технологічних процесів.

У порівнянні з традиційними сівалками запропонована конструкція забезпечує адресний висів насіння, що дозволяє більш ефективно використовувати площу живлення рослин і зменшити перевитрати насіння. Це, у свою чергу, сприяє формуванню рівномірних сходів, покращенню умов розвитку рослин та підвищенню їх продуктивності.

Крім того, використання мехатронної системи керування забезпечує стабільність технологічного процесу незалежно від швидкості руху агрегату та умов роботи, що дозволяє мінімізувати вплив людського фактора. Це створює передумови для підвищення якості посіву, зменшення втрат та підвищення економічної ефективності виробництва в цілому.

5.2. Інвестиції в проект

Інвестиції в подальшому капіталовкладення у впровадження удосконаленої овочевої сівалки визначаються як сукупність витрат, необхідних для виготовлення, оснащення та введення в експлуатацію машини [31]. До їх складу входять витрати на основні конструктивні елементи, електронні компоненти, пневматичну систему, джерело живлення, а також витрати на монтаж і налаштування.

Оскільки конструкція сівалки передбачає використання 4 висівних секцій, більшість елементів (висівні апарати, двигуни, датчики) враховуються кратно кількості секцій. Разом із тим окремі елементи (електронний блок керування, акумулятор) є спільними для всієї машини. Розрахунок капітальних витрат наведено у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Капіталовкладення на виготовлення 4 секційної сівалки

№	Найменування	Кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1	Висівний апарат	4	8000	32000
2	Кроковий двигун	4	2500	10000
3	Електронний блок керування	1	3000	3000
4	Датчики та кабелі	4	1500	6000
5	Пневматична система	1	4000	4000
6	Акумулятор LiFePO ₄	1	7000	7000
7	Монтаж і налаштування	1	3000	3000
Разом				65 000

Як видно з таблиці, загальні капіталовкладення у створення удосконаленої чотирисекційної сівалки становлять 65 000 грн. Найбільшу частку витрат становлять висівні апарати та електроприводи, що обумовлено необхідністю оснащення кожної секції окремим дозуючим механізмом і приводом.

Разом із тим використання єдиного електронного блоку керування та акумуляторної батареї дозволяє зменшити загальну вартість системи, що є перевагою мехатронного підходу.

Отримане значення капіталовкладень є відносно невисоким у порівнянні з вартістю імпортованих аналогів, що підтверджує економічну доцільність розробки та впровадження запропонованої конструкції.

5.3. Визначення експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати визначаються як сукупність витрат, пов'язаних із використанням сівалки в процесі виконання посівних робіт. До їх складу входять витрати на паливо або електроенергію, оплату праці оператора, технічне обслуговування та інші супутні витрати. Вихідні дані для виконання розрахунків приймаємо згідно додатку В. Розрахунок виконується для площі $S=25\text{га}$ традиційної базової сівалки точного висіву СТВ-4

Загальні експлуатаційні витрати

$$E_{\text{баз}} = E_n + E_{zn} + E_{\text{то}} \quad (5.1)$$

Знаходимо складові загальних експлуатаційних витрат і розпочнемо з визначення витрати пального

Витрати на дизельне паливо визначаються за формулою:

$$E_n = S \cdot q \cdot C \quad (5.2)$$

де S – площа, га;

q – витрата пального, л/га;

C – ціна пального, грн/л.

Наступну складову витрату на оплату праці

Визначимо за формулою Витрати на оплату праці визначаються:

$$E_{зп} = C_{зп} \cdot t \quad (5.3)$$

де $C_{зп}$ – оплата праці за зміну, грн/день;

t – тривалість виконання робіт, днів.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт сівалки визначаються як частка від її вартості. Це пов'язано з необхідністю проведення профілактичних робіт, заміни зношених елементів та підтримання працездатності обладнання.

Розрахунок виконується за формулою:

$$E_{то} = K \cdot \alpha \quad (5.4)$$

де $E_{то}$ – витрати на технічне обслуговування і ремонт, грн;

K – вартість сівалки, грн;

α – коефіцієнт витрат на ТО і ремонт (у частках приймаємо 0,08 або 8%).

Врахувавши вихідні дані та провіши розрахунки отримаємо

$$E_{баз} = 10875 + 2100 + 6720 = 19695 \text{ грн}$$

Для розрахунку загальних експлуатаційних витрат проектного варіанту необхідно визначити витрати на електроенергію для привода сівалки агромономом:

$$E_{ел} = W \cdot C \quad (5.5)$$

де W – споживання електроенергії, кВт·год;

C – тариф на електроенергію, грн/кВт·год.

Тоді загальні експлуатаційні витрати визначимо за формулою:

$$E_{np} = E_{el} + E_{zn} + E_{to} \quad (5.6)$$

Економічний ефект від зниження витрат визначається як:

$$E_{ek} = E_{baz} - E_{np} \quad (5.7)$$

Результати розрахунків експлуатаційних витрат приведемо в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Порівняльні розрахунки експлуатаційних витрат

Показник	Сівалка СТВ-4	Удосконалена	Різниця
Площа, га	25	25	0
Вартість сівалки	84000 грн	65000 грн	-19000 грн
Коефіцієнт ТО	0.08	0.08	0
Витрати на ТО	6720 грн	5200 грн	-1520 грн
Витрати пального	10875 грн	—	-10875 грн
Витрати електроенергії	—	1800 грн	+1800 грн
Оплата праці	2100 грн	1400 грн	-700 грн
Загальні витрати	19695 грн	8400 грн	-11295 грн

Як видно з таблиці, основна різниця у витратах формується за рахунок відсутності витрат дизельного пального в удосконаленій сівалці. Водночас витрати на електроенергію є значно меншими порівняно з витратами на пальне.

Також спостерігається зниження витрат на оплату праці, що пояснюється автоматизацією процесу висіву. Витрати на технічне обслуговування також є нижчими через меншу вартість машини.

У результаті загальні експлуатаційні витрати зменшуються на 11295 грн, що підтверджує економічну ефективність удосконаленої конструкції.

5.4. Розрахунок економічної ефективності удосконалення

Одним із основних джерел економічного ефекту від впровадження удосконаленої овочевої сівалки є підвищення врожайності сільськогосподарських культур. Це досягається за рахунок більш рівномірного розміщення рослин на площі, оптимізації площі живлення та зменшення конкуренції між рослинами.

Застосування мехатронної системи керування дозволяє реалізувати адресний (координатний) висів, що забезпечує точне дотримання інтервалів між насінинами незалежно від швидкості руху агрегату. У результаті створюються сприятливі умови для росту та розвитку рослин, що позитивно впливає на їх продуктивність.

$$E_{sp} = S \cdot Y \cdot \delta \cdot C \quad (5.8)$$

де S – площа, га;

Y – урожайність, т/га;

δ – приріст урожайності;

C – ціна продукції, грн/т.

$$E_{sp} = 25 \cdot 20 \cdot 0.03 \cdot 5000 = 75000 \text{ грн}$$

Загальний додатковий прибуток

Загальний додатковий прибуток формується як сума економії експлуатаційних витрат та прибутку від підвищення врожайності:

$$E_{\text{доd}} = E_{\text{ек}} + E_{\text{вр}} \quad (5.9)$$

$$E_{\text{доd}} = 11295 + 75000 = 86295 \text{ грн}$$

Отримані результати показують, що основна частина додаткового прибутку формується за рахунок підвищення врожайності, що обумовлено покращенням якості висіву. Разом із економією експлуатаційних витрат це забезпечує загальний додатковий прибуток у розмірі 86 295 грн на рік, що підтверджує високу ефективність запропонованого технічного рішення.

Термін окупності є одним із основних показників економічної ефективності інженерного рішення і характеризує період часу, протягом якого капіталовкладення повністю компенсуються за рахунок отриманого додаткового прибутку.

Розрахунок терміну окупності виконується за формулою:

$$T = \frac{K}{E_{\text{доd}}} \quad (5.10)$$

де T – термін окупності, років;

K – капіталовкладення у проєкт, грн;

$$T = \frac{65000}{86295} = 0,75 \text{ року}$$

В таблиці 5.3 наведено загальні результати розрахунку економічної ефективності проєкту

Таблиця 5.3 – Техніко-економічні показники проекту

№	Показник, одиниця	СТВ-4 (базова)	Удосконалена	Різниця
1	Площа обробітку, га	25	25	-
2	Урожайність, т/га	20	20,6	+0.6
3	Ціна продукції, грн/т	5000	5000	-
4	Вартість сівалки, грн	84000	65000	-19000
5	Продуктивність, га/год	1,5	2,5	+1
6	Витрати на ТО, грн	6720	5200	-1520
7	Витрати пального, грн	10875	–	-10875
8	Витрати електроенергії, грн	–	1800	+1800
9	Оплата праці, грн	2100	1400	-700
10	Загальні витрати, грн	19695	8400	-11295
11	Додатковий прибуток (урожайність), грн	75000		
12	Економія витрат, грн	11295		
13	Загальний додатковий прибуток, грн	86295		
14	Термін окупності, роки	0,75 (9 міс.)		

5.5. Висновки по розділу

Обґрунтовано економічну доцільність впровадження удосконаленої сівалки, в результаті розрахунку встановлено зниження експлуатаційних витрат на 11 295 грн та отримання додаткового прибутку від підвищення врожайності у розмірі 75 000 грн. Загальний економічний ефект становить 86 295 грн, а термін окупності – 0,75 року, що підтверджує ефективність проекту.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню овочевої сівалки точного висіву шляхом розробки мехатронної системи керування для умов мостового землеробства. Метою роботи було підвищення точності висіву, ефективності використання посівного матеріалу та загальної продуктивності посівних робіт.

У першому розділі проведено аналіз сучасних технологій вирощування овочевих культур та визначено основні фактори, що впливають на якість посіву. Встановлено обмеження традиційних сівалок, пов'язані з залежністю від механічного приводу.

У другому розділі виконано аналіз конструкцій сівалок і висівних апаратів. Обґрунтовано доцільність їх удосконалення для реалізації адресного (координатного) висіву в умовах мостового землеробства.

У третьому розділі розроблено конструкцію удосконаленого дозуючого пристрою та мехатронної системи керування. Встановлено, що частота подачі насіння становить 10 насінин/с, час заряджання – 0,025 с, а повний цикл роботи дозатора – 0,10 с. Продуктивність однієї секції становить 36 000 насінин/год, а для сівалки з чотирма секціями – 144 000 насінин/год. При ширині захвату 2 м і швидкості руху 2 м/с продуктивність сівалки становить 1,44 га/год, з можливістю регулювання в діапазоні від 0,36 до 3,6 га/год залежно від інтервалу висіву. Проведені розрахунки підтвердили працездатність та ефективність запропонованої конструкції.

У четвертому розділі виконано аналіз умов праці, визначено небезпечні та шкідливі фактори та розроблено заходи з охорони праці. Розглянуто питання електробезпеки, пожежної безпеки та впливу на навколишнє середовище.

У п'ятому розділі проведено економічне обґрунтування. Встановлено, що впровадження розробленої сівалки дозволяє знизити експлуатаційні витрати на 11 295 грн, отримати додатковий прибуток від підвищення врожайності у

розмірі 75 000 грн, що формує загальний економічний ефект 86 295 грн на рік. Термін окупності становить 0,75 року (близько 9 місяців).

У результаті виконаної роботи доведено, що запропонована конструкція овочевої сівалки з мехатронною системою керування забезпечує підвищення точності висіву, продуктивності та економічної ефективності, що підтверджує доцільність її впровадження в умовах сучасного точного землеробства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Смаглій О. Ф., Дереча О. А., Рябчук П. О. та ін. Технології та технологічні проекти вирощування основних сільськогосподарських культур: навчальний посібник. – Житомир: Поліський національний університет, 2020. – 292 с.
2. 1. Shearer S. A. Precision Agriculture Basics. – Madison: ASA, CSSA, SSSA, 2016. – 411 p.
3. Шемавнєв В.І., Лазарева О.М., Грекова Н. В., Олексюк О. М., Любович О. А. Овочівництво: Навчальний посібник / Під ред. Професора В. І. Шемавнєва. – Дніпропетровськ: ДДАУ, 2001. – 392.с.
4. Звітна інформація господарства за 2023-2025 рік.
5. Зінченко О.І. та ін. Рослинництво: Підручник / О.І Зінченко. В. Н. Салатенко, М. А. Білоножко; За ред. О. І. Зінченка. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 591 с.: іл.
6. Влох.В.Г. Рослинництво. В.Г.Влох, С.В. Дубровицький, Г.С. Кияк, Д.М. Онищук. – К: Вища школа. 2005. – 382 с.
7. Кравченко В. А. Механізація виробництва овочів. – Харків : ХНТУСГ, 2019. – 256 с.
8. Барабаш О. Ю. Овочівництво: Підручник.- К.: Вища шк., 1994 – 374 с.: іл.
9. Бондар С. О. Овочівництво : підручник. Київ: Урожай, 2018. – 384 с.
10. Сільськогосподарські та меліоративні машини: Підручник / Д.Г. Войтюк, В.О. Дубровін, Т.Д.Ішенко та ін.; За ред. Д.Г. Войтюка. – К.: Вища освіта, 2004. – 544 с.; іл.
11. Bulgakov V., Adamchuk V., Ivanovs S. Research of agricultural machines interaction with soil. – Engineering for Rural Development. – 2020. – P. 120–128.
12. Hunt D. Farm Power and Machinery Management. – Iowa : Wiley, 2016. – 368 p.

13. Kepner R., Bainer R., Barger E. Principles of Farm Machinery. – Westport : AVI Publishing, 2017. – 527 p.
14. 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.
15. 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>
16. Сисолін П.В. Свіренє М.О. Висівні апарати сівалок. – Кіровоград, 2004 р. – 160 стр.
17. «VESTA 8 PROFI» Пропашная сеялка джерело: https://old.elvorti.com/index.php?cname=vesta_8_profi
18. Стрічкова сівалка «Stanhay» <http://www.stanhay.com/>
19. Сівалка точного висіву просапних культур Aeromat 8S <https://www.monolitagro.ru/home/pochvoobrabotka/sejalkikongskilde/aeromat/11-aeromat.html>
20. Темпо Väderstad джерело: <https://agrimatco.ua/väderstad-products/tempo>
21. SP Precision Seed Drill. – Technical documentation. – URL: <https://www.maschio.com> (дата звернення: 5.05.2026).
22. Bolton W. Mechatronics: Electronic Control Systems in Mechanical and Electrical Engineering. – 6th ed. – Harlow: Pearson Education, 2015. – 648 p.
23. Bishop R. H. The Mechatronics Handbook. – Boca Raton: CRC Press, 2007. – 1229 p.
24. Погорілий Л. В., Барановський В. М. Інженерно-технічне забезпечення агропромислового виробництва. – Київ: Агр. наука, 2012. – 512 с.

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

26. Технічна механіка (складові загальноінженерної компетентності): Навч. посібник / В. І. Мороз, О. В. Братченко, В. І. Громов та ін. – Харків: УкрДУЗТ, 2023. – 135 с., рис. 41, табл. 4.

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

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

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

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

31. Шпилько О.В. Методика визначення економічної ефективності технології та сільськогосподарської техніки / А.В. Шпилько, В.І. Драгай. – К.: ВНДІЕСГ, 1998. - 219 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Код програми мехатронної системи сівалки точного висіву з удосконаленим дозуючим пристроєм

```
// --- ПІНИ ---  
  
#define STEP_PIN 2    // крок двигуна  
#define DIR_PIN 3     // напрям  
#define SENSOR_MOVE 4 // датчик інтервалу (колесо)  
#define SENSOR_SEED 5 // оптичний датчик насіння  
#define VALVE_PIN 6   // електроклапан  
  
// --- ПАРАМЕТРИ ---  
  
int stepsPerSeed = 200; // кроки двигуна на 1 насінину  
int interval = 10;     // імпульси до висіву  
  
// --- ЗМІННІ ---  
  
int moveCounter = 0;  
bool seedDetected = false;  
  
void setup() {  
    pinMode(STEP_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(DIR_PIN, OUTPUT);  
    pinMode(SENSOR_MOVE, INPUT);  
    pinMode(SENSOR_SEED, INPUT);  
    pinMode(VALVE_PIN, OUTPUT);  
    digitalWrite(DIR_PIN, HIGH);  
    Serial.begin(9600);  
}  
// --- ОСНОВНИЙ ЦИКЛ ---  
  
void loop() {
```

```

// 1. ВІДСТЕЖЕННЯ РУХУ
if (digitalRead(SENSOR_MOVE) == HIGH) {
    moveCounter++;
    delay(50); // антидребезг
} // 2. ЧИ НАСТАВ МОМЕНТ ВИСІВУ
if (moveCounter >= interval) {
    moveCounter = 0;
    Serial.println("Сівба...");
    // 3. ПОВОРОТ ДИСКА
    rotateDisk();
    // 4. ПЕРЕВІРКА НАСІНИНИ
    seedDetected = checkSeed();
    if (seedDetected) {
        Serial.println("Насіння ОК");
        // 5. ПОДАЧА ПОВІТРЯ
        digitalWrite(VALVE_PIN, HIGH);
        delay(100); // імпульс
        digitalWrite(VALVE_PIN, LOW);
    } else {
        Serial.println("ПОМИЛКА: немає насіння!");
        retrySeed();
    }
    // --- ФУНКЦІЯ ПОВОРОТУ ДИСКА ---
void rotateDisk() {
    for (int i = 0; i < stepsPerSeed; i++) {
        digitalWrite(STEP_PIN, HIGH);
        delayMicroseconds(800);
        digitalWrite(STEP_PIN, LOW);
        delayMicroseconds(800);
    }
}
}

```

```
// --- ПЕРЕВІРКА НАСІНИНИ ---  
bool checkSeed() {  
    int state = digitalRead(SENSOR_SEED);  
    return (state == HIGH);  
// --- ПОВТОРНА СПРОБА ---  
void retrySeed() {  
    Serial.println("Повторна подача...");  
    rotateDisk();  
    if (checkSeed()) {  
        digitalWrite(VALUE_PIN, HIGH);  
        delay(100);  
        digitalWrite(VALUE_PIN, LOW);  
    } else {  
        Serial.println("Критична помилка!");  
    }  
}
```

Додаток Б

Складові мехатронної системи

№	Елемент	Марка / модель	Основні параметри	Призначення
1	Мікроконтролер	ESP32 DevKit V1	240 МГц, Wi-Fi, 34 GPIO	Центральне керування системою
2	Кроковий двигун	NEMA 17 42BYGH48	1.8°, 1.5–2 А, 40 Н·см	Привід висівного диска
3	Драйвер двигуна	DRV8825 stepper driver	до 2.5 А, microstep	Керування двигуном
4	Датчик інтервалів	E18-D80NK	3–80 см, 5 В	Визначення переміщення
5	Оптичний датчик насіння	TCRT5000	ІЧ, 2–15 мм	Контроль проходження насіння
6	Електроклапан	2W025-08 solenoid valve	12 В, 0–0.8 МПа	Подача повітря
7	Джерело живлення	Mean Well LRS-350-12	12 В, 29 А	Живлення системи
8	Датчик рівня	Capacitive Sensor LJ12A3-4-Z/BY	6–36 В	Контроль рівня насіння
9	Інтерфейс оператора	LCD 2004 I2C	20×4 символи	Відображення параметрів
10	Комунікація	Wi-Fi (ESP32)	бездротовий зв'язок	Передача даних / GPS

Додаток В

Таблиця В.1 – Вихідні дані для економічних розрахунків

№	Показник, одиниця	Позначення	Значення
1	Площа обробітку, га	S	25
2	Урожайність базова, т/га	Y	20
3	Приріст урожайності, %	δ	3
4	Ціна продукції, грн/т	C	5000
5	Витрата пального, л/га	q	5
6	Ціна дизельного пального, грн/л	C _п	87
7	Споживання електроенергії, кВт·год	W	300
8	Тариф на електроенергію, грн/кВт·год	C _{ел}	6
9	Оплата праці, грн/день	C _{зп}	700
10	Тривалість робіт (СТВ-4), днів	t ₁	3
11	Тривалість робіт (проектна), днів	t ₂	2
12	Вартість сівалки СТВ-4, грн	K ₁	84000
13	Вартість проектної сівалки, грн	K ₂	65000
14	Коефіцієнт витрат на ТО, –	α	0.08

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
				<u>Документація</u>		
A1			52.ДП.070106.000.СК	<u>Складове креслення</u>		
				<u>Деталі</u>		
		1		Рана	1	
		2		<u>Переднє колесо</u>	1	
		3		<u>Блок керування</u>	1	
A3		4	52.ДП.070106.004	<u>Корпус висхідного апарату</u>	1	
		5		Ресивер	1	
		6		<u>Валик переміщення сілки</u>	1	
		7		<u>Електромотор</u>	1	
		8		Редуктор	1	
		9		Сашник	1	
		10		Насіннепробід	1	
		11		Магістраль	1	
		12		<u>Прикріплювальне колесо</u>	1	
A4		13	52.ДП.070106.013	<u>Висхідний диск</u>	1	
		14		Бак для насіння	1	
		15		<u>Насіннеупорядков.</u>	1	
		16		<u>Фотодатчик</u>	1	
		17		Краковий відбигун	1	
		18		Регульований гвинт	1	
		19		Пружина	1	
A4		20	52.ДП.070106.020	<u>Виштовнювач</u>	1	
		22		Гвинт регулювання глибини	1	
A3		23	52.ДП.070106.023	Основа		

Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Підп. і дата		Взам. инв. №		Підп. і дата	
Під					

[illegible]

Демонстраційний матеріал

Дніпропетровський державний аграрно-економічний університет
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра тракторів і сільськогосподарських машин

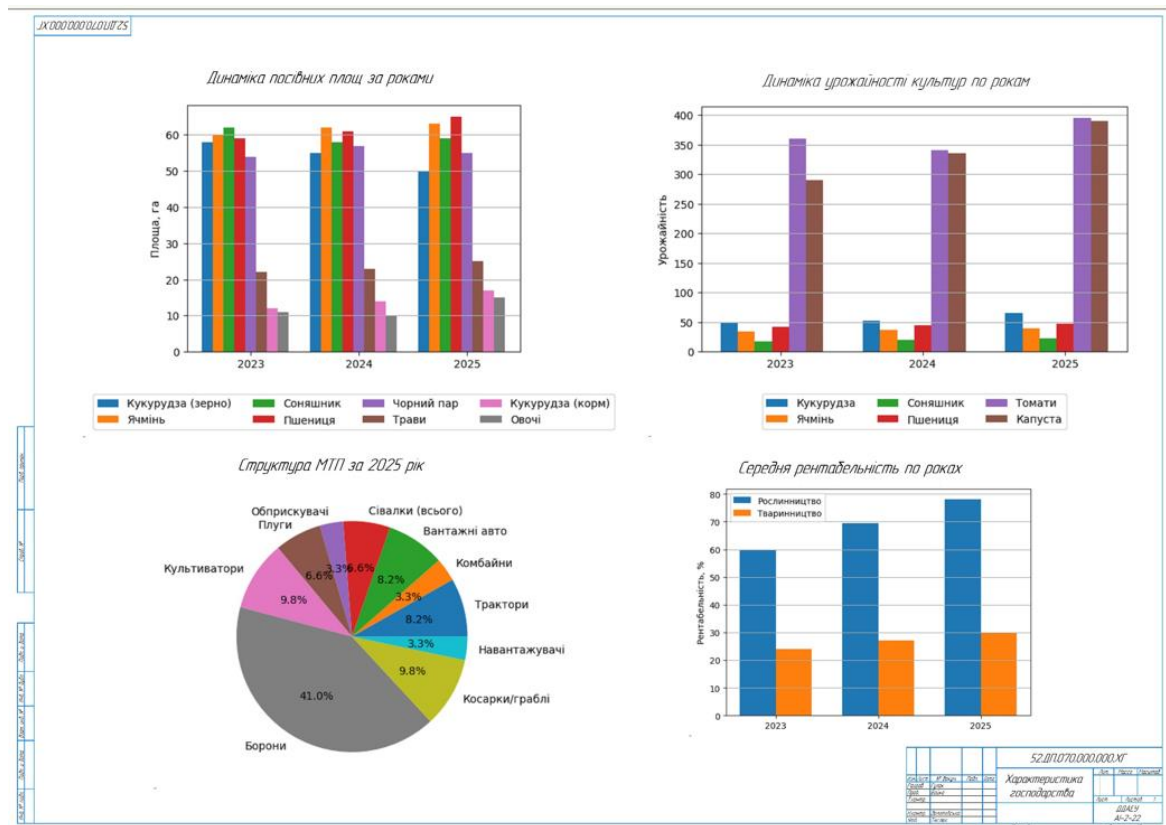
Демонстраційний матеріал
до дипломного проекту на тему:

Удосконалення овочевої сівалки точного висіву з мехатронною системою керування для мостового землеробства

Виконав: Олександр ГУЛАК

Керівник: доц. Владислав БОЙКО

Дніпро 2026



№	Показник	СТВ-4 (базова)	Удосконалена	Різниця
1	Площа обробітку, га	25	25	-
2	Урожайність, т/га	20	20,6	+0,6
3	Ціна продукції, грн/т	5000	5000	-
4	Вартість сівалки, грн	84000	65000	-19000
5	Продуктивність, га/год	1,5	2,5	+1
6	Витрати на ТО, грн	6720	5200	-1520
7	Витрати пального, грн	10875	-	-10875
8	Витрати електроенергії, грн	-	1800	+1800
9	Оплата праці, грн	2100	1400	-700
10	Загальні витрати, грн	19695	8400	-11295
11	Додатковий прибуток (урожайність), грн	75000		
12	Економія витрат, грн	11295		
13	Загальний додатковий прибуток, грн	86295		
14	Термін окупності, роки	0,75 (9 міс.)		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена удосконаленню овочевої сівалки точного висіву шляхом розробки мехатронної системи керування для умов мостового землеробства. Метою роботи є підвищення точності висіву, ефективності використання посівного матеріалу та продуктивності посівних робіт.

У роботі проведено аналіз сучасних технологій та обґрунтовано доцільність впровадження адресного висіву. Розроблено конструкцію дозуючого пристрою, при якій частота подачі насіння становить 10 нас/с, час заряджання – 0,025 с, а повний цикл – 0,10 с. Продуктивність однієї секції становить 36 000 насінин/год, а сівалки з чотирма секціями – 144 000 насінин/год. При ширині захвату 2 м і швидкості 2 м/с продуктивність становить 1,44 га/год з можливістю регулювання в межах 0,36–3,6 га/год.

Виконано аналіз умов праці та розроблено заходи з охорони праці. Економічне обґрунтування показало зниження експлуатаційних витрат на 11 295 грн та отримання додаткового прибутку 75 000 грн, що забезпечує загальний економічний ефект 86 295 грн/рік. Термін окупності становить 0,75 року ($\approx$ 9 місяців).

Отримані результати підтверджують ефективність запропонованої конструкції та доцільність її впровадження у виробництво.