

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломного проєкту

ступеня вищої освіти «Бакалавр» на тему:

**Підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні
соняшнику із використання систем точного землеробства**

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

_____ Кузьменко Р.М.

Керівник: _____ Макаренко Дмитро Олександрович

Рецензент: _____

Дніпро – 2026

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Ступінь вищої освіти: «Бакалавр»

Спеціальність: 208 «Агроінженерія»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ЕМТП

(назва кафедри)

доцент

(вчене звання)

Деркач О.Д.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« ____ » _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ СТУДЕНТУ

Кузьменку Роману Михайловичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику із використання систем точного землеробства

керівник роботи Макаренко Дмитро Олександрович, 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 _____

3. Вихідні дані до проєкту Огляд сучасних технологій вирощування соняшнику із застосуванням систем точного землеробства. Патентний пошук, аналіз літературних джерел, сучасних досліджень та технічних рішень у галузі підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). 1. Актуальність культури соняшнику в сучасних умовах. 2. Аналіз технологій вирощування соняшнику та використання елементів точного землеробства. 3. Розробка модернізованої системи

контролю висіву сівалки Vesta 8 Profi. 4. Охорона праці. 5. Економічна частина . Загальні висновки та пропозиції. Використана література.

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

1. Vesta 8 PROFI (A1). 2. Секція сівалки Vesta 8 Profi (A1). 3. Сошник (A3). 4. Висівний диск (A3) 5. Оптичний датчик E18-D80NK (A3). 6. Кронштейн кріплення оптичного датчику (A3).

6. Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
4	Деркач О.Д., доцент		
нормоконтроль	Макаренко Д.О., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проєкту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналітичний (оглядовий)		
2	Технологічний		
3	Конструкційний		
4	Охорона праці		
5	Економічний		
6	Графічна частина		

Студент

_____ (підпис)

Кузьменко Р.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Макаренко Д.О.

_____ (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кузьменко Р.М. Підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику із використанням систем точного землеробства / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». – ДДАЕУ, Дніпро, 2026.

Метою роботи було підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику шляхом використання елементів точного землеробства та модернізації системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFI.

У ході виконання дипломного проєкту проведено аналіз сучасних технологій вирощування соняшнику, досліджено особливості використання систем точного землеробства, GPS-навігації, RTK-корекції, цифрових платформ моніторингу та сучасної сільськогосподарської техніки. Розроблено технологічну карту вирощування соняшнику та виконано розрахунки основних показників роботи машинно-тракторних агрегатів.

У конструктивній частині роботи запропоновано модернізацію системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFI шляхом встановлення оптичних датчиків проходження насіння та електронного блока керування на базі ESP32. Проведено технічні та інженерні розрахунки параметрів роботи системи, визначено частоту проходження насіння, швидкодію датчиків, параметри електронної системи та можливість інтеграції із сучасними цифровими платформами точного землеробства.

Результати дослідження показали, що використання елементів точного землеробства та модернізованої системи контролю висіву дозволяє підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити втрати насіння, оптимізувати використання матеріальних ресурсів та підвищити ефективність вирощування соняшнику.

Економічний аналіз підтверджує доцільність впровадження запропонованих рішень у виробничих умовах аграрних підприємств.

Ключові слова: соняшник, точне землеробство, GPS-навігація, RTK-корекція, контроль висіву, сівалка VESTA 8 PROFI, оптичний датчик, ESP32, технологічна карта, ефективність польових робіт.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. АКТУАЛЬНІСТЬ КУЛЬТУРИ СОНЯШНИКУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ	10
1.1 Біологічна та господарська характеристика соняшнику	10
1.2 Сучасний стан та особливості вирощування соняшнику в Україні	12
1.3 Безвідходне виробництво та переробка культури соняшнику	17
1.4 Висновки до розділу	20
2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА	21
2.1 Огляд та аналіз технологій вирощування соняшнику	21
2.2 Призначення та особливості використання елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику	27
2.3 Аналіз сучасних систем контролю висіву та обґрунтування модернізації сівалки	30
2.4 Розроблення технологічної карти вирощування соняшнику із застосуванням елементів точного землеробства	34
2.5 Висновки до розділу	36
3. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИСІВУ СІВАЛКИ VESTA 8 PROFI	37
3.1 Аналіз конструкції та технічних характеристик сівалки VESTA 8 PROFI	37
3.2 Обґрунтування необхідності модернізації системи контролю висіву	40
3.3 Розробка модернізованого вузла контролю висіву	44
3.3.1. Конструкція та склад електронної системи	44
3.3.2. Теоретичні залежності для розрахунку системи	48
3.3.3. Розрахунок параметрів роботи системи контролю висіву	57

3.4 Висновок до розділу	62
4. ОХОРОНА ПРАЦІ	63
4.1. Загальні вимоги охорони праці під час виконання посівних робіт	63
4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час сівби	64
4.3. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту	65
5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	67
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ	70
ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА	71
Додатки	74

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва особливого значення набуває підвищення ефективності виконання польових робіт при вирощуванні сільськогосподарських культур. Однією з найбільш важливих та економічно значущих культур в Україні є соняшник, який займає провідне місце у структурі посівних площ та забезпечує високий рівень рентабельності аграрного виробництва [15].

Разом із тим ефективність вирощування соняшнику значною мірою залежить від якості виконання технологічних операцій, дотримання оптимальних строків проведення робіт, точності висіву насіння, внесення добрив та використання сучасних технічних засобів. В умовах зростання вартості паливно-мастильних матеріалів, мінеральних добрив та засобів захисту рослин особливо актуальним є впровадження елементів точного землеробства.

Сучасні системи точного землеробства дозволяють забезпечити диференційований підхід до виконання технологічних операцій, підвищити точність польових робіт, зменшити перекриття та пропуски, оптимізувати витрати ресурсів і підвищити врожайність культури. Використання GPS-навігації, RTK-корекції, систем моніторингу висіву, цифрових платформ аналізу полів та супутникового моніторингу дає можливість оперативно контролювати стан посівів і підвищувати ефективність використання машинно-тракторних агрегатів [1].

Особливу роль у технології вирощування соняшнику відіграє якість посіву, оскільки рівномірне розміщення насіння у рядку безпосередньо впливає на формування густоти стояння рослин та майбутню врожайність. Саме тому актуальним напрямком є удосконалення систем контролю висіву сучасних сівалок шляхом впровадження електронних систем моніторингу та контролю проходження насіння.

Метою дипломного проєкту є підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику із використанням систем точного землеробства та модернізація системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFІ.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз сучасних технологій вирощування соняшнику;
- дослідити особливості використання систем точного землеробства;
- виконати аналіз роботи машинно-тракторного парку;
- обґрунтувати доцільність модернізації системи контролю висіву;
- розробити модернізований вузол контролю проходження насіння;
- виконати технічні та технологічні розрахунки;
- визначити економічну ефективність запропонованих рішень.

Запропоновані у дипломному проєкті технічні рішення спрямовані на підвищення точності виконання польових робіт, покращення контролю висіву насіння та підвищення ефективності використання сучасної сільськогосподарської техніки в умовах точного землеробства.

1. АКТУАЛЬНІСТЬ КУЛЬТУРИ СОНЯШНИКУ В СУЧАСНИХ УМОВАХ

1.1. Біологічна та господарська характеристика соняшнику

Соняшник належить до числа найбільш поширених та економічно важливих олійних культур у сучасному аграрному виробництві. Це однорічна теплолюбна рослина, яка характеризується добре розвиненою кореневою системою, здатною проникати у ґрунт на глибину до 2–3 метрів. Завдяки цьому культура ефективно використовує запаси вологи та поживних речовин навіть у посушливих умовах. Стебло соняшнику міцне, прямостояче, залежно від сорту та умов вирощування може досягати висоти 1,5–2,5 м. Суцвіття має форму кошика діаметром від 20 до 40 см, у якому формується насіння з високим вмістом олії [6].

Основною цінністю соняшнику є його насіння, яке містить у середньому 40–50 % високоякісної рослинної олії. Соняшникова олія широко використовується у харчовій промисловості для виготовлення маргарину, майонезу, кондитерських виробів та інших продуктів харчування. Окрім цього, вона знаходить застосування і в технічній сфері — при виробництві біодизелю, лакофарбових матеріалів, косметичної продукції та окремих видів мастильних речовин. У сучасних умовах розвитку альтернативної енергетики соняшник також розглядається як перспективна сировина для виготовлення біопалива.

Не менш важливим є використання побічної продукції переробки соняшнику. Жмих та шрот є цінними кормовими добавками для тваринництва, оскільки містять значну кількість білка та поживних речовин. Лушпиння застосовується як паливний матеріал або сировина для виготовлення паливних гранул. Крім цього, соняшник вважається цінною медоносною культурою. За сприятливих погодних умов бджоли можуть збирати з одного гектара посівів

від 25 до 50 кг меду, що додатково підвищує господарське значення цієї рослини.

Латинська назва соняшнику — *Helianthus annuus L.* — безпосередньо пов'язана з його характерною особливістю реагувати на сонячне світло. Молоді рослини здатні змінювати положення кошика протягом дня, повертаючись у напрямку руху сонця. Таке явище називається фототропізмом і пояснюється прагненням рослини максимально ефективно використовувати сонячну енергію для процесу фотосинтезу. Після початку цвітіння рух кошиків поступово припиняється, і більшість рослин залишається орієнтованою на схід. Ця біологічна особливість враховується під час планування технології вирощування, адже правильне розміщення рядків може позитивно впливати на рівень освітлення посівів та сприяти підвищенню врожайності [12].



Рис. 1.1 – Культура соняшник

Сучасні гібриди соняшнику характеризуються високою продуктивністю, покращеною стійкістю до хвороб і шкідників, а також здатністю адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов. Значна увага селекціонерів приділяється створенню високоолеїнових сортів та гібридів, у яких вміст олеїнової кислоти може становити понад 80 % [16]. Така олія має

кращу стійкість до окислення, довший термін зберігання та вважається більш корисною для здоров'я людини. Саме розвиток високоолеїнового напрямку став одним із найважливіших досягнень сучасної селекції соняшнику.

Для України соняшник має особливе значення не лише як сільськогосподарська культура, а і як один із символів вітчизняного аграрного сектору. Наша держава займає провідні позиції у світі за обсягами виробництва та експорту соняшникової олії. Значна частина світового ринку цієї продукції забезпечується саме українськими виробниками. За офіційними статистичними даними, у 2025 році експорт соняшникової олії з України перевищив 6 млн тонн, що принесло державі понад 5 млрд доларів США валютних надходжень. Це підтверджує високу економічну ефективність вирощування соняшнику та його важливу роль у розвитку аграрної економіки країни. Саме тому аграрні підприємства активно впроваджують сучасні технології вирощування, цифрові системи контролю та новітню техніку з метою підвищення врожайності й конкурентоспроможності виробництва.

1.2. Сучасний стан та особливості вирощування соняшнику в Україні

Соняшник упродовж останніх років залишається однією з найважливіших стратегічних культур аграрного сектору України. Високий попит на соняшникову олію на світовому ринку, значні площі вирощування та розвинена система переробки забезпечують стабільну рентабельність цієї культури навіть в умовах воєнного стану та нестабільної економічної ситуації. Україна продовжує утримувати провідні позиції серед світових виробників і експортерів соняшникової олії, що підтверджує важливість соняшнику для формування валютних надходжень держави.

За оцінками Міністерства аграрної політики України та міжнародних аналітичних агентств, у 2025 році виробництво насіння соняшнику прогнозувалося на рівні близько 11,5 млн тонн. Зниження обсягів валового

збору порівняно з попереднім роком було пов'язане насамперед із несприятливими погодними умовами, недостатньою кількістю вологи у ґрунті та складними умовами проведення посівної кампанії в окремих регіонах країни. Додатковий вплив мали й наслідки війни, які ускладнюють логістику, зменшують доступність частини земель та підвищують виробничі витрати аграрних підприємств.

Незважаючи на складну ситуацію, соняшник залишається однією з найбільш прибуткових культур у структурі українського рослинництва. Посівні площі під цією культурою у 2025 році становили понад 5 млн гектарів. Найбільші площі традиційно були зосереджені у Дніпропетровській, Кіровоградській, Полтавській, Харківській, Миколаївській та Одеській областях. Саме ці регіони мають сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для вирощування соняшнику, зокрема достатню кількість тепла, високий рівень сонячної активності та придатні чорноземні ґрунти [16].

Сучасне виробництво соняшнику в Україні характеризується активним впровадженням інноваційних технологій. Аграрні підприємства широко застосовують системи точного землеробства, автоматизований контроль висіву, супутниковий моніторинг стану посівів, диференційоване внесення добрив та сучасні гібриди з підвищеною посухостійкістю. Це дозволяє підвищувати ефективність використання ресурсів та зменшувати вплив несприятливих факторів зовнішнього середовища. Особливо актуальними у 2025 році стали технології контролю вологості ґрунту та оптимізації витрат пального через значне подорожчання матеріально-технічних ресурсів.

У структурі українського аграрного експорту соняшникова олія залишається одним із ключових товарів. Україна і надалі утримує лідерські позиції на світовому ринку цієї продукції. Основними імпортерами української соняшникової олії залишаються країни Європейського Союзу, Індія, Туреччина, Китай та держави Близького Сходу. У 2025 році експорт соняшникової олії оцінювався на рівні 4,1–4,5 млн тонн залежно від маркетингового року та врожайності культури.

Світовий попит на соняшникову олію продовжує залишатися високим завдяки її харчовим властивостям та широкому використанню у харчовій промисловості. Порівняно з пальмовою олією, соняшникова містить менше насичених жирів та вважається більш корисною для здоров'я людини. Саме тому багато країн збільшують обсяги імпорту української продукції. Водночас на ринку зберігається значна конкуренція з боку виробників пальмової та соєвої олії, що періодично впливає на коливання світових цін [6]. На рисунку 1.2. наведено показники ефективності вирощування культур в Україні.

	 СОНЯШНИК MAS 98.K	 КУКУРУДЗА MAS 30.M	 ОЗИМИЙ РІПАК MIRANDA	 СОЯ
Добрива за технології	Нітроамофоска 200 кг + B	Карбимід 200 кг	Демофоска 100 кг – Амічка солтра 200 кг + B + Mn	Діамфоска 150 кг + B + Mo
Оренда землі	11 500	11 500	11 500	11 500
Насіння*	2 650	4 540	1 500	3 000
Вартість робив	4 300	3 500	6 700	5 000
ЗЗР (оригінальні продукти)**	5 200	4 500	6 500	5 000
Паливо та мастильні матеріали	3200	3000	3500	3200
Зарплата та податки	2200	2000	2500	2500
Послуги збирання та транспортування	2500	3500	2200	2500
Сушка + очистка	1000	7700	1000	1000
Загальновиробничі витрати	3000	3000	3000	3000
Адміністративні витрати	1200	1200	1200	1200
Логістика	1000	3000	1200	1000
УСЬОГО ВИТРАТИ на 1 г., грн без ПДВ	37 750	47 440	40 600	38 600
Група стиглості	середкостилий	середностилий	середноранній	середкостила
Урожайність, т/га	3,3	9,2	3,3	3,2
Вологість, %	7	14 (17)	7	14-16
Олійність, %	52	-	47	-
Олійність, грн т/%	350	-	350	-
Ціна реалізації (DAP завод)	22 550	9 000	20 600	18 063
СОБІВАРІСТЬ, т	11 439	5 157	12 303	12 063
ПРИБУТОК на 1 г., грн без ПДВ	39 965	35 360	32 000	20 920
РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, %	106	75	79	54

Рис. 1.2. - Табличні значення щодо ефективності вирощування сільськогосподарських культур на 2025-2026 роки у розрахунку на 1 га

Упродовж 2025 року внутрішній ринок соняшнику характеризувався нестабільною ціновою ситуацією. Закупівельні ціни на насіння соняшнику залежали від обсягів пропозиції, світових котирувань олії, валютного курсу та логістичних витрат. У окремі періоди року ціни перевищували 30 тис. грн за тонну на умовах поставки до переробних підприємств. Зростання вартості

соняшнику пояснювалося обмеженою пропозицією сировини та стабільним попитом з боку українських олієпереробних заводів.

Важливе значення має і переробка соняшнику. Після виробництва олії залишається шрот та жмих, які є цінними високобілковими кормами для тваринництва. Україна залишається одним із найбільших експортерів соняшникового шроту до країн Європи та Азії. Крім того, побічна продукція переробки, зокрема лушпиння, активно використовується як біопаливо для виробництва теплової енергії та пелет. Це дозволяє більш ефективно використовувати ресурси та підвищувати економічну ефективність галузі.

Сучасний розвиток ринку соняшнику в Україні значною мірою орієнтований на виробництво високоолеїнових гібридів. Такий напрямок є перспективним завдяки підвищеному попиту на високоолеїнову олію з боку харчової та косметичної промисловості. Хоча у 2025-2026 році прогнозується певне скорочення експорту високоолеїнової соняшникової олії, українські виробники активно розширюють географію збуту, зменшуючи залежність від ринку Європейського Союзу та збільшуючи поставки до країн Азії й Північної Америки. Економічна оцінка вирощування соняшнику наведена на таблиці 1.1.

Таблиця 1.1. – Економічна оцінка вирощування соняшнику порівняно з іншими культурами (2025 р.)

Культура	Загальні витрати, грн/га	Урожайність, т/га	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Соняшник	37 750	3,3	39 965	106
Кукурудза	47 440	7,2	35 360	75
Озимий ріпак	40 600	3,3	32 000	79
Соя	38 600	3,2	20 920	54
Озима пшениця	40 100	4,5	21 650	54

Діаграма порівняння витрат та прибутку при вирощуванні культур наведена на рисунку 1.3., діаграма рентабельності виробництва на рисунку 1.4.

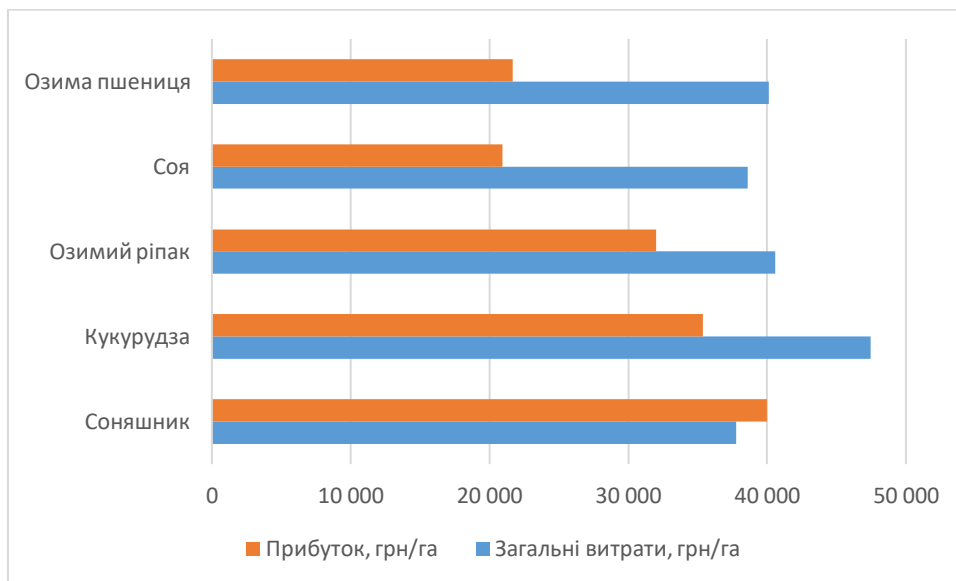


Рис. 1.3. - Діаграма порівняння прибутку та загальних витрат

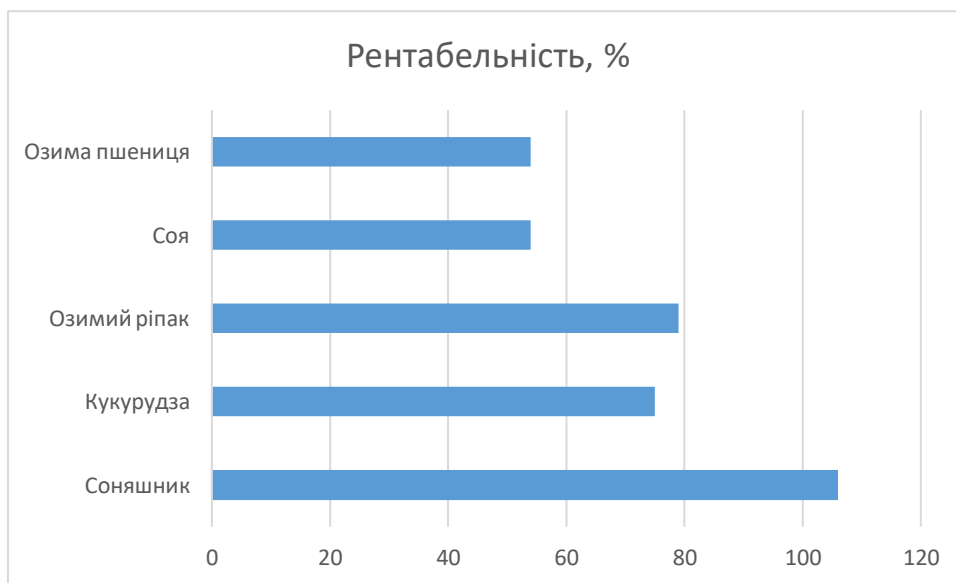


Рис. 1.4. - Діаграма порівняння рентабельності вирощування культур

Соняшник залишається однією з найбільш стратегічно важливих культур для аграрного сектору України. Навіть в умовах складної економічної та воєнної ситуації галузь демонструє високу стійкість, адаптивність та значний експортний потенціал. Подальший розвиток сучасних технологій вирощування, цифрового землеробства та селекції нових гібридів створює передумови для підвищення ефективності виробництва та зміцнення позицій України на світовому ринку олійних культур.

1.3. Безвідходне виробництво та переробка культури соняшнику

У сучасних умовах розвитку агропромислового комплексу особливого значення набувають технології безвідходного виробництва та раціонального використання сировини. Соняшник є однією з небагатьох сільськогосподарських культур, у якій практично всі частини рослини можуть бути використані у виробництві продукції, енергетичній сфері або тваринництві. Завдяки цьому вирощування та переробка соняшнику сьогодні розглядаються не лише як напрямок харчової промисловості, а і як важлива складова енергетичної та екологічної безпеки держави.

Основним продуктом переробки насіння соняшнику є олія, яка широко використовується у харчовій, косметичній, фармацевтичній та технічній галузях. Проте під час виробництва олії утворюється значна кількість побічної продукції — лушпиння, шроту та жмиху, які мають високу господарську цінність. Якщо раніше ці компоненти вважалися відходами виробництва, то сьогодні вони активно використовуються як вторинна сировина, що значно підвищує економічну ефективність переробної галузі [18].

Особливу увагу в останні роки приділяють використанню соняшникового лушпиння як альтернативного джерела енергії. Лушпиння має високу теплотворну здатність і використовується для виробництва паливних пелет та брикетів. Одна тонна такого біопалива здатна частково замінити природний газ та інші традиційні енергоносії. Використання лушпиння дозволяє агропідприємствам зменшувати витрати на опалення, сушіння зерна та виробничі процеси. В умовах постійного зростання цін на енергоносії це є важливим фактором підвищення рентабельності виробництва [16].

В Україні великі агропромислові компанії активно впроваджують технології енергетичного використання відходів соняшнику. Багато олійноекстракційних заводів та елеваторних комплексів уже використовують котельні, що працюють на біомасі соняшnikового походження. Це дозволяє

значно скоротити споживання природного газу та зменшити негативний вплив на навколишнє середовище. Крім економічної вигоди, така технологія сприяє скороченню викидів вуглекислого газу та розвитку відновлюваної енергетики. Порівняльна характеристика біопалива наведена на таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. – Порівняльна характеристика біопалива та традиційних енергоносіїв

Джерело енергії	Середня енергетична цінність, МДж/кг	Рівень екологічності	Основне застосування в агросекторі
Пелети з лушпиння соняшнику	18–20	Високий	Сушіння зерна, опалення елеваторів та виробничих приміщень
Деревна тріска	14–17	Високий	Твердопаливні котли та теплогенератори
Кам'яне вугілля	23–27	Низький	Промислові котельні та теплоелектростанції
Природний газ	32–35	Середній	Опалення та технологічні процеси
Солом'яні брикети	15–16	Високий	Альтернативне паливо для агропідприємств
Біогаз із рослинної сировини	20–25	Високий	Виробництво електроенергії та тепла

Після збирання врожаю на полях залишається значна кількість рослинних решток - стебел, листя та кореневої системи. За середньої урожайності соняшнику кількість такої біомаси може перевищувати 3–5 тонн з одного гектара. Сьогодні ці залишки активно використовуються для виробництва органічних добрив, біогазу, паливних гранул та навіть целюлози. Частина біомаси подрібнюється і заробляється у ґрунт, що сприяє підвищенню вмісту органічної речовини та покращенню структури ґрунту.

Окрему цінність має соняшниковий шрот і жмих, які утворюються після віджиму олії. Вони містять до 35–40 % білка та є важливими компонентами комбикормів у тваринництві [18]. Соняшниковий шрот широко

використовується у годівлі великої рогатої худоби, свиней, птиці та риби. Його застосування сприяє підвищенню приросту живої маси тварин, збільшенню надоїв молока та покращенню продуктивності у птахівництві. Україна входить до числа найбільших світових експортерів соняшникового шроту, постачаючи його до країн Європи, Азії та Близького Сходу. Основні напрямки використання відходів соняшнику наведено на таблиці 1.3.

Таблиця 1.3. – Основні напрями використання продукції та відходів соняшнику

Частина рослини або продукт	Основне використання
Насіння	Виробництво соняшникової олії
Олія	Харчова промисловість, біодизель, косметика
Жмих та шрот	Високобілкові корми для тварин
Лушпиння	Паливні пелети, брикети, опалення
Стебла та листя	Біогаз, органічні добрива, целюлоза
Зола після спалювання	Мінеральні добрива
Кошки соняшнику	Кормові добавки та біопаливо

Сучасні технології безвідходного виробництва дозволяють максимально ефективно використовувати всі компоненти рослини та мінімізувати кількість невикористаних залишків. У багатьох країнах світу активно розвиваються проєкти з виробництва біогазу із соняшникової біомаси. Такі установки забезпечують підприємства електроенергією та теплом, а залишки після бродіння використовуються як органічні добрива.

Важливим напрямком є також виробництво екологічно чистих матеріалів на основі соняшникових відходів. Із целюлози стебел виготовляють папір, картон та окремі види біорозкладного пакування. У перспективі

можливе ширше використання соняшникової сировини у виробництві біопластиків та композитних матеріалів.

Соняшник є прикладом культури з високим рівнем комплексного використання. Практично кожна частина рослини має господарську цінність та може бути використана у виробництві енергії, кормів, добрив або промислової продукції. Впровадження технологій безвідходної переробки сприяє підвищенню економічної ефективності аграрного виробництва, розвитку альтернативної енергетики та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

1.4. Висновки до розділу

У результаті проведеного аналізу встановлено, що соняшник є однією з найважливіших олійних культур України та має вагоме значення для аграрного сектору й економіки держави. Культура характеризується високою рентабельністю, стабільним попитом на внутрішньому та зовнішньому ринках, а також широкими напрямками використання продукції переробки.

Визначено, що сучасне вирощування соняшнику базується на використанні високопродуктивних гібридів, елементів точного землеробства та сучасних агротехнологій, що дозволяє підвищувати ефективність виробництва й забезпечувати стабільну урожайність.

Дослідження показали, що соняшник є перспективною культурою для впровадження безвідходних технологій. Побічна продукція переробки активно використовується у виробництві біопалива, кормів та органічних добрив, що сприяє підвищенню економічної ефективності та екологічності агропромислового виробництва.

2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОЩУВАННЯ СОНЯШНИКУ ТА ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА

2.1. Огляд та аналіз технологій вирощування соняшнику

Соняшник є однією з найбільш технологічно важливих культур у сучасному рослинництві України. Високий попит на насіння та продукти його переробки стимулює аграрні підприємства до постійного вдосконалення технологій вирощування, впровадження сучасної техніки та елементів точного землеробства. Ефективність виробництва соняшнику значною мірою залежить від правильного поєднання агротехнічних операцій, раціонального використання машинно-тракторного парку та дотримання технологічних вимог на всіх етапах вирощування культури.

Сучасні технології вирощування соняшнику спрямовані не лише на підвищення врожайності, а й на збереження родючості ґрунту, зменшення витрат пального, оптимізацію використання добрив та засобів захисту рослин. Особливо актуальним це стало в умовах зростання цін на матеріально-технічні ресурси, зміни кліматичних умов та дефіциту вологи у ґрунті. Саме тому аграрні підприємства дедалі активніше переходять від традиційних методів обробітку до сучасних ресурсозберігаючих технологій.

Вирощування соняшнику потребує врахування біологічних особливостей культури. Рослина характеризується потужною кореневою системою, яка здатна проникати у ґрунт на глибину понад 2–3 м [16]. Завдяки цьому соняшник має відносно високу посухостійкість, проте одночасно значно висушує ґрунт. Саме тому важливе значення має правильне планування сівозміни та використання технологій збереження ґрунтової вологи. Оптимальними для вирощування соняшнику є чорноземні та каштанові ґрунти з нейтральною або слабокислою реакцією середовища.

Важливим фактором отримання високого врожаю є правильний вибір технології обробітку ґрунту. У сучасному аграрному виробництві

застосовуються як класичні, так і мінімальні системи обробітку, вибір яких залежить від ґрунтово-кліматичних умов, рівня забезпечення технікою та особливостей господарства. Основними завданнями обробітку є накопичення та збереження вологи, знищення бур'янів, створення оптимальної структури ґрунту та забезпечення сприятливих умов для розвитку кореневої системи рослин [16]. Перелік технологічних операцій наведено на таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні технологічні операції при вирощуванні соняшнику

Технологічна операція	Основне призначення	Технічні засоби
Післяжнивний обробіток ґрунту	Подрібнення рослинних решток та збереження вологи	Дискові борони, луцильники
Основний обробіток	Розпушення ґрунту та накопичення вологи	Плуги, глибокорозпушувачі
Передпосівна підготовка	Формування посівного ложа	Культиватори, борони
Посів	Точне розміщення насіння у ґрунті	Просапні сівалки точного висіву
Внесення добрив	Забезпечення рослин поживними речовинами	Розкидачі добрив, аплікатори
Захист рослин	Контроль бур'янів, шкідників та хвороб	Самохідні обприскувачі
Збирання врожаю	Отримання насіння з мінімальними втратами	Комбайни з соняшниковими жатками

Одним із ключових етапів технології вирощування соняшнику є посів. Від якості виконання цієї операції залежить рівномірність сходів, густота стояння рослин та подальший розвиток культури. Сівбу рекомендується проводити за температури ґрунту 10–12 °С на глибині загортання насіння. Оптимальна глибина посіву становить 4–6 см, проте на легких та пересушених

грунтах її можуть збільшувати до 8 см. Для забезпечення точного висіву використовують сучасні пневматичні сівалки, обладнані електронними системами контролю норми висіву та GPS-навігацією [23].

Сучасне вирощування соняшнику неможливо уявити без використання мінеральних добрив та мікроелементів. Культура характеризується значним винесенням поживних речовин із ґрунту, особливо калію та бору. Для отримання стабільної урожайності аграрні підприємства застосовують як основне внесення добрив, так і позакореневі підживлення у критичні фази розвитку рослин. Особливе значення має забезпечення соняшнику бором, дефіцит якого негативно впливає на формування кошика та налив насіння. Порівняльна характеристика сучасних технологій обробітку ґрунту наведена на таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Порівняльна характеристика сучасних систем обробітку ґрунту

Система обробітку	Характеристика технології	Переваги	Обмеження
Традиційна	Оранка та багаторазова культивування	Якісне розпушення ґрунту	Високі витрати пального
Mini-till	Мінімальний поверхневий обробіток	Збереження вологи та менше ущільнення	Потребує сучасної техніки
Strip-till	Обробіток лише посівних смуг	Економія добрив і пального	Складність налаштування
No-till	Відмова від механічного обробітку	Максимальне збереження вологи	Високі вимоги до захисту рослин

В останні роки все більшого поширення набувають технології точного землеробства. Їх використання дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва соняшнику та зменшити виробничі витрати. Сучасні трактори та самохідні машини оснащуються системами автоматичного водіння, RTK-навігацією, датчиками контролю висіву та електронними системами моніторингу роботи агрегатів [21]. Це дозволяє уникати перекриттів і пропусків під час виконання польових робіт, а також зменшувати витрати пального, насіння та добрив.



Рис. 2.1. – Операція посіву за технологією No-Till

Важливим елементом цифрового землеробства є використання супутникового моніторингу та карт врожайності. Аналіз отриманих даних дозволяє агрономам визначати проблемні ділянки поля, оцінювати рівень розвитку рослин та планувати диференційоване внесення добрив. У багатьох господарствах активно використовуються безпілотні літальні апарати, які здійснюють аерофотозйомку посівів та дозволяють оперативно виявляти осередки бур'янів, хвороб або дефіциту вологи. Приклад поля яке обробляється по технології Strip-Till наведено на рисунку 2.2. Огляд використання елементів точного землеробства для зручності зображено в таблиці 2.3.



Рис. 2.2. – Поле яке обробляється по технології Strip-Till

Таблиця 2.3. - Використання елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику

Елемент точного землеробства	Основне призначення	Результат використання
GPS-навігація	Точність руху техніки	Зменшення перекриттів і витрат пального
RTK-сигнал	Підвищення точності польових операцій	Рівномірний висів та обробіток
Диференційоване внесення добрив	Оптимізація живлення рослин	Економія добрив
Системи контролю висіву	Контроль норми висіву насіння	Рівномірні сходи
Агродрони	Моніторинг стану посівів	Оперативне виявлення проблемних зон
Карти врожайності	Аналіз продуктивності поля	Підвищення ефективності управління

Сучасні технології вирощування соняшнику базуються на комплексному поєднанні агротехнічних заходів, сучасної техніки та цифрових систем управління виробництвом. Використання ресурсозберігаючих технологій і елементів точного землеробства дозволяє підвищувати урожайність культури, зменшувати витрати ресурсів та забезпечувати стабільну економічну ефективність виробництва в умовах сучасного аграрного ринку.

Таблиця 2.4. - Порівняння сучасних технологій вирощування соняшнику за технічними та економічними показниками

Показник	Традиційна технологія	Mini-Till	Strip-Till	No-Till
Кількість проходів техніки по полю	6–8	4–5	2–4	1–2
Глибина обробітку ґрунту, см	25–30	10–16	18–25 (у смузі)	Без обробітку
Середні витрати пального, л/га	20–28	12–18	8–14	5–9
Витрати часу на 1 га, год	3,5–4,5	2,5–3,0	1,8–2,5	1,2–1,8
Рівень збереження ґрунтової вологи	Середній	Високий	Високий	Максимальний
Ризик ущільнення ґрунту	Високий	Середній	Низький	Мінімальний
Потреба у гербіцидах	Середня	Середня	Підвищена	Висока
Вимоги до потужності техніки	Високі	Середні	Високі	Середні
Орієнтовне зниження витрат порівняно з оранкою	—	15–20 %	25–35 %	40–50 %
Середня врожайність соняшнику, т/га*	2,8–3,4	3,0–3,6	3,2–3,8	2,7–3,5

Порівняння сучасних систем обробітку ґрунту показує, що ресурсозберігаючі технології мають суттєві переваги над традиційною оранкою. Найбільше скорочення витрат пального забезпечує технологія No-Till, яка дозволяє зменшити кількість проходів техніки по полю та мінімізувати механічний вплив на ґрунт.

Технологія Strip-Till вважається однією з найбільш перспективних для вирощування соняшнику в умовах недостатнього зволоження, оскільки поєднує локальний обробіток ґрунту із збереженням рослинних решток між рядами. Це дозволяє ефективніше накопичувати вологу та одночасно скорочувати витрати добрив і пального [13].

Mini-Till також забезпечує хороші результати завдяки меншому ущільненню ґрунту та зменшенню витрат на обробіток. Водночас традиційна технологія залишається поширеною у господарствах із недостатнім рівнем технічного забезпечення або на полях зі складними ґрунтовими умовами [13].

2.2. Призначення та особливості використання елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику

У сучасному аграрному виробництві технології точного землеробства є одним із найважливіших напрямків розвитку рослинництва. Їх використання дозволяє значно підвищити ефективність вирощування сільськогосподарських культур, зменшити виробничі витрати та оптимізувати використання матеріально-технічних ресурсів. Особливо актуальним застосування цифрових технологій є при вирощуванні соняшнику, оскільки ця культура потребує високої точності виконання технологічних операцій, рівномірного висіву та ефективного використання добрив і засобів захисту рослин.

Основною метою точного землеробства є отримання максимальної продуктивності з кожної ділянки поля при мінімальних витратах ресурсів та зменшенні негативного впливу на навколишнє середовище. На відміну від традиційного підходу, де поле розглядається як однорідна площа, технології точного землеробства дозволяють враховувати неоднорідність ґрунтів, рельєфу, рівня зволоження та стану рослин у різних зонах поля.

В основі точного землеробства лежить використання супутникових навігаційних систем GPS та RTK-корекції. GPS-навігація дозволяє визначати точне місце розташування техніки на полі, а RTK-сигнал забезпечує точність руху агрегатів до $\pm 2,5$ см. Завдяки цьому значно зменшується кількість перекриттів та пропусків під час посіву, внесення добрив і обприскування посівів. Це дозволяє економити паливе, насіння та засоби захисту рослин [23].

Одним із найбільш поширених елементів точного землеробства є система автоматичного водіння техніки. Сучасні трактори обладнуються

автопілотами, які автоматично утримують агрегат на заданій траєкторії руху. Використання таких систем особливо ефективно під час посіву соняшнику, де навіть незначне відхилення від рядка може негативно впливати на міжрядний обробіток та подальше збирання врожаю. За рахунок автоматичного водіння вдається зменшити перекриття на 5–10 %, а витрати пального скоротити в середньому на 8–15 % [21]. У таблиці 2.5. наведено параметри ефективності використання систем точного землеробства за різних елементів.

Таблиця 2.5. - Ефективність використання елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику

Технологія	Основне призначення	Економічний або технологічний ефект
GPS-навігація	Контроль траєкторії руху техніки	Зменшення перекриттів до 10 %
RTK-корекція	Підвищення точності польових робіт	Точність руху до $\pm 2,5$ см
Автопілот	Автоматичне керування агрегатом	Економія пального 8–15 %
Диференційоване внесення добрив	Локальне внесення добрив	Зменшення витрат добрив на 10–20 %
Системи контролю висіву	Контроль проходження насіння	Зниження кількості пропусків
Агродрони	Моніторинг стану посівів	Оперативне виявлення проблемних зон
Карти врожайності	Аналіз продуктивності поля	Оптимізація технології вирощування

Важливим напрямком розвитку точного землеробства є використання систем диференційованого внесення добрив. Такі системи дозволяють автоматично змінювати норму внесення добрив залежно від агрохімічних показників окремих ділянок поля. Це забезпечує більш ефективне використання мінеральних добрив та дозволяє уникати їх перевитрати. За сучасними оцінками, використання диференційованого внесення дозволяє скоротити витрати добрив на 10–20 % без зниження врожайності культури.

Особливе значення при вирощуванні соняшнику мають системи електронного контролю висіву. Такі системи забезпечують контроль проходження насіння через висівний апарат та дозволяють оператору в режимі реального часу отримувати інформацію про пропуски, двійники або забивання насіннєпроводів. Використання датчиків контролю висіву сприяє підвищенню рівномірності розміщення рослин у рядку та покращує умови розвитку культури.

У сучасному рослинництві дедалі більшого поширення набуває використання безпілотних літальних апаратів — агродронів. Вони використовуються для моніторингу стану посівів, створення карт вегетації, аналізу рівня розвитку рослин та оперативного виявлення проблемних ділянок поля. Дрони дозволяють швидко отримувати інформацію про стан посівів навіть на великих площах, що значно підвищує оперативність прийняття агрономічних рішень. Перелік основних електронних систем наведено на таблиці 2.6.

Таблиця 2.6. - Основні електронні системи сучасної сільськогосподарської техніки

Електронна система	Призначення	Сфера використання
ISOBUS	Обмін даними між технікою та агрегатами	Трактори, сівалки, обприскувачі
GPS-приймач	Визначення координат техніки	Навігація
RTK-модуль	Високоточна навігація	Посів, міжрядний обробіток
Датчики висіву	Контроль проходження насіння	Сівалки точного висіву
Бортові комп'ютери	Контроль параметрів роботи агрегату	Всі польові операції
Системи картографування	Створення карт урожайності	Комбайни та аналітика полів

Використання технологій точного землеробства особливо ефективне у поєднанні з сучасними ресурсозберігаючими технологіями обробітку ґрунту, такими як Strip-Till та No-Till. Поєднання GPS-навігації, автоматичного

водіння та контролю висіву дозволяє значно підвищити точність виконання технологічних операцій та забезпечити стабільну врожайність соняшнику навіть в умовах дефіциту вологи [23].

Таким чином, елементи точного землеробства є важливою складовою сучасних технологій вирощування соняшнику. Їх використання забезпечує підвищення продуктивності техніки, зниження витрат ресурсів, покращення якості виконання польових робіт та підвищення економічної ефективності аграрного виробництва.

2.3. Аналіз сучасних систем контролю висіву та обґрунтування модернізації сівалки

Одним із найважливіших факторів отримання високої врожайності соняшнику є забезпечення рівномірного висіву насіння по всій площі поля. Порушення рівномірності розміщення рослин у рядку призводить до зниження ефективності використання площі живлення, погіршення розвитку рослин та зменшення врожайності культури. Саме тому сучасні сівалки точного висіву оснащуються електронними системами контролю, які дозволяють у режимі реального часу відстежувати якість виконання посівної операції.

Під час висіву соняшнику особливе значення мають такі параметри, як норма висіву, рівномірність подачі насіння, глибина загортання та стабільність руху посівного агрегату. Для більшості сучасних гібридів соняшнику рекомендована густина стояння рослин становить 50–65 тис. рослин/га залежно від зони вирощування та забезпечення вологою. При цьому навіть незначні відхилення від заданої норми висіву можуть негативно впливати на урожайність. Наприклад, збільшення кількості двійників до 8–10 % може знижувати урожайність на 4–6 %, а пропуски у рядку здатні призводити до втрат врожаю на рівні 5–8 % [16].

Основною причиною виникнення нерівномірності висіву є нестабільна робота висівного апарата, забивання насіннєпроводів, підвищення швидкості

руху агрегату або відсутність систем оперативного контролю. Особливо актуальною ця проблема є при роботі на високих швидкостях посіву, які у сучасних умовах можуть досягати 10–14 км/год. При збільшенні швидкості руху агрегату підвищується ризик появи двійників та пропусків, що безпосередньо впливає на густоту стояння рослин.

Для контролю якості висіву сучасні виробники сільськогосподарської техніки використовують різні електронні системи моніторингу. Їх основним завданням є контроль проходження насіння через висівний апарат та передача інформації оператору в режимі реального часу. Аналіз найбільш поширених систем контролю висіву наведено у таблиці 2.7.

Таблиця 2.7. - Порівняльна характеристика сучасних систем контролю висіву

Система контролю	Основні функції	Точність контролю	Основні недоліки
Precision Planting 20/20	Контроль двійників, пропусків, швидкості	До 99 %	Висока вартість
John Deere SeedStar	Моніторинг висіву та GPS-контроль	95–98 %	Складність інтеграції
Väderstad E-Control	Контроль секцій через планшет	До 98 %	Потребує ISOBUS
Horsch AutoForce	Автоматичне регулювання притискового зусилля	До 97 %	Висока ціна обладнання
Базові механічні системи	Контроль частоти обертання валів	70–80 %	Низька точність
Запропонована система	Контроль проходження насіння та GPS-моніторинг	90–95 %	Обмежений функціонал

Аналіз сучасних систем показує, що найбільш ефективними є комплексні електронні системи, які поєднують контроль висіву, GPS-навігацію та автоматичне керування секціями. Проте використання таких систем суттєво збільшує вартість посівного комплексу. У багатьох господарствах України продовжують використовувати сівалки без сучасного

електронного контролю, що призводить до збільшення перевитрати насіння та зниження якості посіву.

Особливо важливим є контроль рівномірності висіву соняшнику, оскільки ця культура дуже чутлива до конкуренції між рослинами. За надмірного загущення спостерігається зменшення діаметра кошика, зниження маси 1000 насінин та погіршення олійності. Водночас недостатня густота стояння рослин призводить до неефективного використання площі живлення та втрат потенційної врожайності. Вплив дефектів висіву на урожайність соняшнику наведено у таблиці 2.8.

Таблиця 2.8. - Вплив нерівномірності висіву на урожайність соняшнику

Порушення висіву	Відхилення від норми	Орієнтовне зниження врожайності
Пропуски у рядку	5%	3–5 %
Пропуски у рядку	10%	6–9 %
Двійники	5%	2–4 %
Двійники	10%	4–7 %
Нерівномірна глибина висіву	±2 см	5–8 %
Відхилення міжряддя	±5 см	2–3 %

З урахуванням проведеного аналізу доцільним є удосконалення висівної секції сівалки шляхом встановлення системи електронного контролю проходження насіння. Як базову машину для модернізації обрано пневматичну сівалку точного висіву VESTA 8 PROFI, яка широко використовується у господарствах України при вирощуванні соняшнику та кукурудзи. Сівалка характеризується шириною захвату 5,6 м, робочою швидкістю до 9–12 км/год та міжряддям 70 см.

Запропонована модернізація передбачає встановлення оптичного датчика контролю висіву у зоні насіннепроводу кожної висівної секції. Датчик забезпечує фіксацію проходження насіння та передає сигнал до електронного

блока керування. Для обробки інформації пропонується використання мікроконтролера ESP32, який має достатню швидкодію, низьке енергоспоживання та підтримує бездротову передачу даних.

Схема роботи модернізованої системи полягає у тому, що під час проходження насіння через насіннєпровід оптичний промінь датчика переривається, після чого сигнал надходить до блока керування. У разі появи пропусків або забивання насіннєпроводу система формує попередження для оператора. Крім цього, модернізована система може інтегруватися з GPS-навігацією та RTK-модулем для забезпечення точного контролю руху агрегату.

Основні параметри запропонованої модернізованої системи наведено у таблиці 2.9

Параметр	Значення
Тип датчика	Оптичний
Точність фіксації насіння	90–95 %
Робоча напруга системи	12 В
Тип контролера	ESP32
Максимальна швидкість посіву	До 14 км/год
Тип передачі даних	Провідний / Wi-Fi
GPS-навігація	Підтримується
RTK-корекція	До $\pm 2,5$ см
Кількість контрольованих секцій	8
Час реакції системи	Менше 0,1 с

Запропонована модернізація дозволяє підвищити якість виконання посівної операції, зменшити кількість пропусків та двійників, а також покращити ефективність використання насінневого матеріалу. Інтеграція електронного контролю висіву з елементами точного землеробства забезпечує підвищення точності роботи посівного агрегату та створює передумови для подальшої автоматизації технологічних процесів при вирощуванні соняшнику.

2.4. Розроблення технологічної карти вирощування соняшнику із застосуванням елементів точного землеробства

Розрахунок показників використання МТА на операції сівби соняшнику

Розрахунок виконується для машинно-тракторного агрегату у складі трактора Case IH Maxxum 150 та сівалки точного висіву VESTA 8 PROFi. Операція виконується на площі 110 га. Годинна продуктивність агрегату за технологічною картою становить 16,5 га/год.

Продуктивність агрегату за зміну визначається за формулою:

$$W_{зм} = W_{год} * T_{зм} \quad (2.1)$$

де:

$W_{зм}$ - змінна продуктивність агрегату, га/зм;

$W_{год}$ - годинна продуктивність агрегату, га/год;

$T_{зм}$ - тривалість зміни, год.

$$W_{зм} = 16,5 * 7 = 115,5 \text{ га/зм}$$

Добовий виробіток агрегату при роботі протягом 14 годин становитиме:

$$W_{доб} = W_{год} * T_{доб} \quad (2.2)$$

$$W_{доб} = 16,5 * 14 = 231 \text{ га/добу}$$

Необхідна кількість агрегатів для виконання сівби в агротехнічний строк визначається за формулою:

$$n = Q / (W_{доб} * D_p) \quad (2.3)$$

де:

Q - площа посіву, га;

D_p - агротехнічний строк виконання роботи, діб.

За умови виконання роботи протягом 3 діб:

$$n = 110 / (231 * 3) = 0,16$$

Отримане значення округлюється до більшого цілого числа. Отже, для виконання сівби соняшнику на площі 110 га достатньо 1 агрегату.

Норма витрати пального для операції сівби приймається 4,2 кг/га.
Загальна витрата пального визначається за формулою:

$$G = g * Q \quad (2.4)$$

де:

G - загальна витрата пального, кг;

g - норма витрати пального, кг/га;

Q - обсяг роботи, га.

$$G = 4,2 * 110 = 462 \text{ кг}$$

Отже, для виконання сівби соняшнику на площі 110 га агрегатом Case IH Маххум 150 + VESTA 8 PROFІ необхідно 462 кг пального.

Затрати праці на одиницю роботи визначаються за формулою:

$$З_{\Pi} = (m_{\text{мех}} + m_{\text{доп}}) / W_{\text{год}} \quad (2.5)$$

де:

$m_{\text{мех}}$ - кількість механізаторів;

$m_{\text{доп}}$ - кількість допоміжних працівників;

$W_{\text{год}}$ - годинна продуктивність агрегату, га/год.

Для операції сівби приймаємо 1 механізатора та 1 допоміжного працівника, який забезпечує контроль роботи сівалки, налаштування електронної системи та контроль якості висіву:

$$З_{\Pi} = (1 + 1) / 16,5 = 0,12 \text{ люд-год/га}$$

Загальні затрати праці на весь обсяг роботи становлять:

$$З_{\Pi.\text{заг}} = 0,12 * 110 = 13,2 \text{ люд-год}$$

Кількість нормо-змін визначається за формулою:

$$H_{\text{зм}} = Q / (T_{\text{зм}} * W_{\text{год}}) \quad (2.6)$$

$$H_{\text{зм}} = 110 / (7 * 16,5) = 0,95 \text{ нормо-змін}$$

Обсяг роботи в умовних еталонних гектарах визначається за формулою:

$$Q_{\text{ум.ет.га}} = H_{\text{зм}} * W_{\text{год.ет}} * T_{\text{зм}} \quad (2.7)$$

де:

$W_{\text{год.ет}}$ - еталонний годинний виробіток, ум. ет. га/год.

Для даного агрегату приймаємо:

$$W_{\text{год.ет}} = 0,60 \text{ ум. ет. га/год} \quad (2.8)$$

Тоді:

$$Q_{\text{ум.ет.га}} = 0,95 * 0,60 * 7 = 4,0 \text{ ум. ет. га}$$

За результатами розрахунку для операції сівби соняшнику на площі 110 га агрегатом Case IH Maxxum 150 + VESTA 8 PROFІ отримано такі показники: витрата пального - 462 кг, затрати праці - 13,2 люд-год, кількість нормо-змін - 0,95, обсяг роботи - 4,00 ум. ет. га. Ці значення наведені у технологічній карті **Додаток А.**

2.5 Висновки до розділу

У другому розділі проведено аналіз сучасних технологій вирощування соняшнику та особливостей застосування елементів точного землеробства у виробничих умовах. Встановлено, що використання ресурсозберігаючих технологій обробітку ґрунту, сучасної техніки та цифрових систем контролю дозволяє підвищити ефективність вирощування культури, зменшити витрати пального та покращити якість виконання технологічних операцій.

Розглянуто основні елементи точного землеробства, серед яких GPS-навігація, RTK-корекція, системи автоматичного водіння та електронний контроль висіву. Визначено, що їх застосування сприяє зменшенню перекриттів і пропусків, підвищенню точності посіву та оптимізації використання матеріально-технічних ресурсів.

У результаті аналізу сучасних систем контролю висіву обґрунтовано доцільність модернізації сівалки VESTA 8 PROFІ шляхом встановлення системи електронного контролю проходження насіння. Також розроблено технологічну карту вирощування соняшнику на площі 110 га та виконано розрахунок показників використання машинно-тракторного агрегату на операції сівби

3. РОЗРОБКА МОДЕРНІЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ВИСІВУ СІВАЛКИ VESTA 8 PROFİ

3.1. Аналіз конструкції та технічних характеристик сівалки VESTA 8 PROFİ

Для виконання технологічного процесу сівби соняшнику в даній роботі використовується пневматична просапна сівалка точного висіву VESTA 8 PROFİ виробництва ELVORTI. Дана сівалка призначена для пунктирного висіву насіння просапних культур із одночасним внесенням мінеральних добрив. Машина забезпечує високу точність дозування насіння, стабільну глибину загортання та рівномірне розміщення рослин у рядку, що є особливо важливим при вирощуванні соняшнику.

Сівалка VESTA 8 PROFİ належить до сучасних пневматичних сівалок точного висіву та агрегатується з тракторами класу 1,4–2,0. Конструкція машини дозволяє виконувати посів на швидкостях до 9 км/год із забезпеченням достатньо високої рівномірності висіву. Загальний вигляд сівалки наведено на рисунку 3.1.



Рис. 3.1 – Загальний вигляд сівалки Vesta 8 Profi

Конструктивно сівалка складається з рами, опорно-приводних коліс, висівних секцій, туковисівної системи, вакуумної пневмосистеми, насінневих бункерів, вентилятора та системи контролю технологічного процесу. Кожна висівна секція оснащена висівним апаратом, сошником, прикочувальними колесами та механізмом регулювання глибини висіву [7].

Основною особливістю сівалки є використання пневматичної системи дозування насіння. Під час роботи вентилятор створює розрідження у висівному апараті, внаслідок чого насіння утримується на отворах висівного диска. Після проходження зони скидання насіння потрапляє у насіннепровід та подається у борозну, сформовану сошником. Такий принцип роботи забезпечує високу точність пунктирного висіву та зменшує кількість двійників і пропусків.

Важливою перевагою конструкції VESTA 8 PROFІ є низьке розташування висівного апарата відносно поверхні ґрунту, що дозволяє скоротити висоту падіння насіння та покращити рівномірність його укладання у рядку. Крім того, конструкція секції забезпечує стабільне копіювання рельєфу поля та підтримання заданої глибини загортання навіть при роботі на підвищених швидкостях.

Основні технічні характеристики сівалки VESTA 8 PROFІ наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. - Технічні характеристики сівалки VESTA 8 PROFІ

Параметр	Значення
Тип сівалки	Пневматична, навісна
Кількість висівних секцій	8
Ширина захвату	5,6 м
Ширина міжряддя	700 мм
Робоча швидкість	2,5–9 км/год
Продуктивність	1,4–5,0 га/год
Глибина загортання насіння	40–120 мм
Ємність насіннєвих бункерів	288 л
Ємність тукових бункерів	320 л
Норма висіву насіння	1,7–58 шт/п.м
Норма внесення добрив	25–248 кг/га
Маса сівалки	1430 кг
Необхідна потужність трактора	від 80 к.с.

Під час виконання посіву соняшнику особливе значення має рівномірність розміщення насіння у рядку. За порушення рівномірності висіву виникає конкуренція між рослинами за вологу, поживні речовини та сонячне освітлення, що негативно впливає на врожайність культури. Тому сучасні сівалки оснащуються електронними системами контролю технологічного процесу, які дозволяють оператору контролювати якість роботи висівних секцій у режимі реального часу.

У базовій комплектації сівалка VESTA 8 PROFІ може оснащуватися інформаційною системою контролю висіву, яка забезпечує базовий моніторинг проходження насіння та сигналізацію аварійних режимів роботи. Проте функціональні можливості стандартної системи є обмеженими та не забезпечують повноцінного контролю якості висіву при роботі на високих швидкостях або в умовах використання елементів точного землеробства.

Крім того, сучасні технології вирощування соняшнику потребують інтеграції сівалок із GPS-навігацією, RTK-корекцією та електронними системами моніторингу висіву. Використання таких систем дозволяє зменшити кількість перекриттів, підвищити точність виконання посівної операції та забезпечити стабільну густоту стояння рослин на всій площі поля.

Важливим елементом конструкції сівалки є висівна секція. Висівна секція сівалки VESTA 8 PROFІ виконана за паралелограмною схемою підвіски, що забезпечує стабільне копіювання рельєфу поверхні поля та підтримання заданої глибини висіву. Основними елементами секції є висівний апарат, сошник, опорно-прикочувальні колеса, механізм регулювання глибини та система передачі крутного моменту.

Сошникова група формує посівну борозну та забезпечує стабільне укладання насіння на задану глибину. Регулювання глибини висіву виконується шляхом зміни положення прикочувальних коліс. Конструкція секції дозволяє підтримувати глибину загортання насіння у межах 40–120 мм залежно від типу ґрунту та агротехнічних вимог.

Привід висівного апарата здійснюється від опорно-приводного колеса через механічну передачу. Під час руху агрегату обертання передається на висівний диск, який забезпечує дозовану подачу насіння у насіннепровід.

Незважаючи на сучасну конструкцію сівалки VESTA 8 PROFІ, під час роботи на підвищених швидкостях можуть виникати пропуски та двійники висіву, що негативно впливає на рівномірність розміщення рослин у рядку. Однією з причин є відсутність повноцінної системи оперативного контролю проходження насіння безпосередньо у зоні насіннепроводу.

Аналіз конструкції сівалки VESTA 8 PROFІ показав, що машина має достатньо високі технічні характеристики та сучасну конструкцію висівних секцій, проте існує можливість підвищення ефективності її роботи шляхом удосконалення системи контролю проходження насіння. Саме тому в подальшому розділі пропонується модернізація висівної секції шляхом встановлення додаткового оптичного датчика контролю висіву та інтеграції електронної системи моніторингу роботи сівалки.

3.2. Обґрунтування необхідності модернізації системи контролю висіву

Однією з найважливіших технологічних операцій при вирощуванні соняшнику є посів, від якості виконання якого безпосередньо залежить формування густоти посіву рослин та майбутня врожайність культури. Навіть при використанні сучасних пневматичних сівалок під час роботи можуть виникати пропуски, двійники та нерівномірність розміщення насіння у рядку. Особливо актуальною дана проблема є при роботі на підвищених швидкостях посіву та в умовах використання елементів точного землеробства.

Для сучасних гібридів соняшнику рекомендована густина стояння рослин становить у середньому 50–65 тис. рослин на 1 га. При цьому навіть незначне порушення рівномірності висіву може призводити до суттєвого зниження врожайності. Наприклад, збільшення кількості пропусків до 8–10 %

здатне знижувати урожайність на 5–8 %, а наявність двійників призводить до конкуренції між рослинами за вологу, елементи живлення та сонячне освітлення.

Під час роботи сівалки на нерівномірність висіву впливають різні фактори: швидкість руху агрегату, нестабільність роботи пневматичної системи, вібрації висівної секції, забивання насіннєпроводів, а також відсутність оперативного контролю проходження насіння. Аналіз основних факторів, що впливають на якість висіву, наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2. – Основні фактори, що впливають на якість висіву соняшнику

Фактор	Наслідок
Підвищена швидкість руху агрегату	Зростання кількості пропусків та двійників
Вібрації висівної секції	Нерівномірне укладання насіння
Забивання насіннєпроводу	Відсутність висіву у рядку
Нестабільне розрідження у пневмосистемі	Порушення роботи висівного диска
Відсутність оперативного контролю	Неможливість швидкого виявлення несправностей
Людський фактор	Несвоєчасне реагування оператора

Як видно з таблиці 3.2, найбільший вплив на якість висіву мають швидкість руху агрегату та відсутність оперативного контролю проходження насіння.

Сучасні технології точного землеробства потребують постійного моніторингу технологічних параметрів у режимі реального часу. Оператор повинен отримувати інформацію про роботу кожної висівної секції, наявність пропусків, забивання насіннєпроводів та відхилення від заданої норми висіву. Проте базові системи контролю, які встановлюються на сівалках серії VESTA,

забезпечують лише частковий контроль технологічного процесу та не дозволяють здійснювати повноцінний моніторинг проходження кожної насінини. При роботі на швидкостях понад 8–9 км/год суттєво зростає навантаження на висівний апарат та збільшується ймовірність виникнення помилок висіву. Це особливо актуально для великих господарств, де посівні роботи виконуються у стислі агротехнічні строки та з максимально можливою продуктивністю агрегатів.

Одним із недоліків базової конструкції сівалки VESTA 8 PROFI є обмежений функціонал штатної системи контролю висіву. Дана система забезпечує лише базову сигналізацію аварійних режимів роботи, проте не дозволяє здійснювати високоточний контроль проходження кожної насінини через насіннєпровід. У результаті оператор не завжди може оперативно виявити появу пропусків, двійників або часткового забивання висівної секції. Штатна система має обмежені можливості інтеграції із сучасними елементами точного землеробства, такими як GPS-навігація, RTK-корекція та електронний моніторинг параметрів роботи агрегату. Це знижує ефективність використання сівалки при роботі на великих площах та ускладнює контроль якості посіву в режимі реального часу.

Для усунення зазначених недоліків у даній роботі пропонується модернізація висівної секції шляхом встановлення додаткового оптичного датчика контролю проходження насіння. Датчик встановлюється у зоні насіннєпроводу між висівним апаратом та сошником, де забезпечується стабільний контроль руху насіння. Принцип роботи датчика ґрунтується на перериванні світлового променя насіниною під час її проходження через контрольну зону.

Сигнал від датчика надходить до електронного блока керування на базі мікроконтролера ESP32, який виконує обробку інформації та передає дані на монітор оператора. У разі виникнення пропусків або забивання насіннєпроводу система формує попереджувальний сигнал. Порівняння за параметрами базової та модернізованої сівалки наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. - Порівняльна оцінка функціональних можливостей базової та модернізованої системи контролю висіву

Параметр	Базова система	Модернізована система
Контроль проходження насіння	Частковий	Повний
Контроль забивання	Обмежений	Автоматичний
Моніторинг секцій	Загальний	По кожній секції
Інтеграція GPS	Відсутня	Передбачена
Оперативність реагування	Середня	Висока
Точність контролю	До 75 %	До 95 %

Для модернізації системи контролю висіву доцільно використовувати саме оптичний датчик, оскільки він характеризується високою швидкістю, компактними розмірами та достатньою точністю контролю проходження насіння. Крім того, оптичні датчики мають невелику масу, просту конструкцію та можуть працювати в умовах підвищеної запиленості й вібрацій, характерних для сільськогосподарських машин.

Проведений аналіз показав доцільність удосконалення штатної системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFI шляхом встановлення додаткового оптичного датчика у зоні насіннєпроводу. Запропонована модернізація дозволить забезпечити оперативний контроль проходження насіння, підвищити точність висіву та знизити ймовірність виникнення пропусків і двійників.

3.3. Розробка модернізованого вузла контролю висіву

3.3.1. Конструкція та склад електронної системи

З метою підвищення точності контролю технологічного процесу посіву соняшнику у даній роботі пропонується модернізація висівної секції сівалки VESTA 8 PROFI шляхом встановлення додаткового оптичного датчика контролю проходження насіння. Основним призначенням модернізованого вузла є оперативний контроль руху насіння через насіннєпровід у режимі реального часу та своєчасне виявлення пропусків або забивання висівної секції.

Запропонована система складається з оптичного датчика, кронштейна кріплення, електронного блока керування на базі мікроконтролера ESP32, кабельної системи передачі сигналу та інформаційного монітора оператора. Загальна конструктивна схема модернізованого вузла наведена на рисунку 3.2.

Для реалізації системи контролю висіву у роботі пропонується використання інфрачервоного оптичного датчика типу E18-D80NK, рисунок 3.3. Даний датчик характеризується компактними розмірами, високою швидкодією та достатньою точністю роботи в умовах підвищеної запиленості та вібрацій. Основні технічні характеристики датчика наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4. - Технічні характеристики оптичного датчика E18-D80NK

Параметр	Значення
Тип датчика	Інфрачервоний оптичний
Робоча напруга	5 В
Робочий струм	до 25 мА
Діапазон спрацювання	3–80 см
Час реакції	≤ 2 мс
Тип вихідного сигналу	Цифровий
Робоча температура	від -25 до +55 °С
Маса датчика	близько 45 г
Діаметр корпусу	18 мм

Принцип роботи модернізованої системи полягає у фіксації проходження насіння через контрольну зону насіннєпроводу. Під час руху

насіння через насіннєпровід відбувається переривання інфрачервоного променя датчика, внаслідок чого формується електричний імпульс. Отриманий сигнал передається до електронного блока керування на базі ESP32, де виконується його обробка та підрахунок кількості насінин, що проходять через висівну секцію.

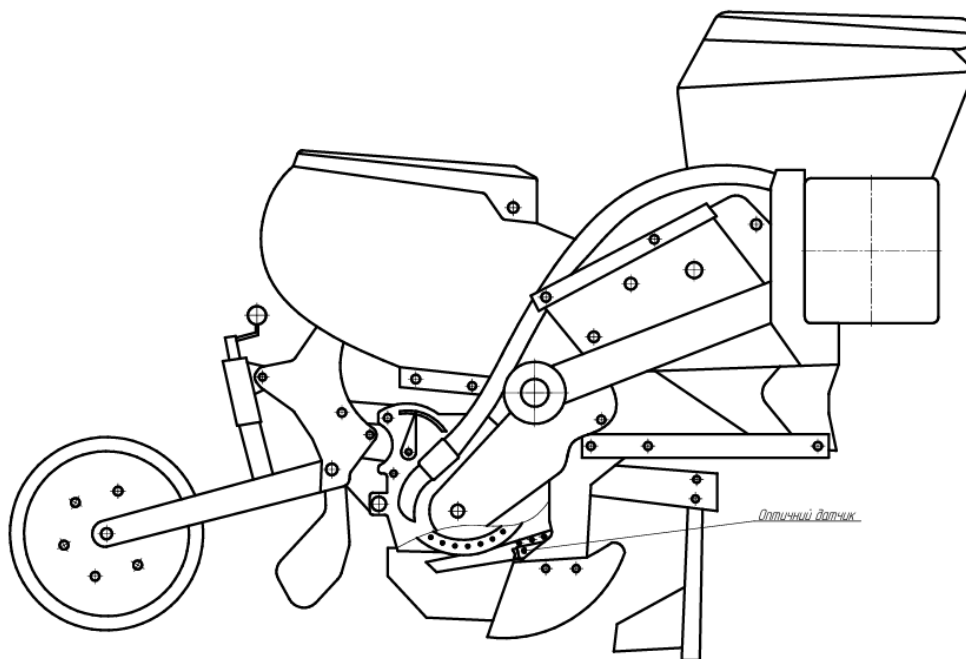


Рис. 3.2 – Загальний вигляд висівної секції сівалки Vesta 8 Profi із встановленим оптичним датчиком контролю висіву



Рис. 3.3 – Інфрачервоного оптичний датчик E18-D80NK

У разі виникнення пропусків висіву або відсутності сигналу протягом заданого проміжку часу система автоматично формує попереджувальне повідомлення для оператора. Це дозволяє своєчасно виявляти забивання насіннєпроводу, нестабільність роботи висівного апарата або порушення процесу подачі насіння.

Встановлення датчика пропонується виконувати у частині між висівним апаратом та сошником. Таке розташування забезпечує стабільний контроль проходження насіння та мінімізує вплив пилу, ґрунтових частинок і механічних пошкоджень. Дана зона характеризується відносно невеликим рівнем вібрацій порівняно з нижньою частиною сошникової групи.

Для кріплення датчика розробляється спеціальний металевий кронштейн, який забезпечує жорстку фіксацію датчика на корпусі висівної секції. Конструкція кронштейна повинна забезпечувати: надійне кріплення датчика;

- можливість регулювання положення;
- стійкість до вібрацій;
- простоту монтажу та демонтажу;
- захист кабельної системи від пошкоджень.

У даній роботі пропонується виготовлення кронштейна зі сталі Ст3 товщиною 3 мм. Вибір даного матеріалу обумовлений достатньою міцністю, технологічністю обробки та невисокою вартістю. Кріплення кронштейна до висівної секції передбачається за допомогою двох болтів М6.

Оскільки під час роботи сівалки висівні секції зазнають постійних динамічних навантажень та вібрацій, конструкція модернізованого вузла повинна забезпечувати стабільну роботу датчика без зміни його положення відносно насіннепроводу. Саме тому у подальшому підрозділі буде виконано інженерний розрахунок елементів модернізованого вузла та перевірку його міцності.

Для забезпечення контролю роботи всіх висівних секцій сівалки VESTA 8 PROFI передбачається встановлення оптичних датчиків на кожний насіннепровід. Оскільки сівалка має 8 висівних секцій, загальна кількість датчиків становить 8 шт. Кожний датчик фіксує проходження насіння через відповідний насіннепровід і передає імпульсний сигнал до електронного блока керування.

Електронна система модернізованого вузла включає:

- 8 оптичних датчиків E18-D80NK;
- електронний блок керування на базі ESP32;
- стабілізатор живлення $12\text{ В} \rightarrow 5\text{ В}$;
- кабельну мережу підключення датчиків;
- захисний корпус блока керування;
- інформаційний дисплей або планшет оператора;
- GPS/RTK-приймач для прив'язки даних до координат поля.

Живлення системи передбачається від бортової електромережі трактора напругою 12 В. Оскільки датчики та мікроконтролер ESP32 працюють від напруги 5 В, у схемі необхідно передбачити понижувальний DC-DC перетворювач. Сигнали від датчиків надходять на цифрові входи блока ESP32, де виконується їх обробка, підрахунок кількості імпульсів та виявлення відхилень від заданого режиму висіву.

Орієнтовна довжина кабельної мережі визначається з урахуванням ширини захвату сівалки 5,6 м, розміщення 8 висівних секцій та прокладання проводів уздовж рами до центрального блока керування. Для підключення однієї секції приймається середня довжина проводу 1,5–2,0 м. Тоді загальна довжина кабелю для підключення датчиків становитиме:

$$8 * 2,0 = 16 \text{ м.}$$

З урахуванням запасу на монтаж, вигини, підключення до блока керування та захист проводки приймаємо загальну довжину кабельної мережі 20–22 м.

Інформація про роботу системи може відображатися на окремому дисплеї в кабіні трактора або передаватися на планшет оператора через Wi-Fi/Bluetooth-модуль ESP32. На екрані доцільно відображати такі параметри: номер висівної секції, наявність проходження насіння, кількість імпульсів за одиницю часу, попередження про пропуск або забивання насіннєпроводу, а також загальний стан системи.

Модернізована система також може бути інтегрована з цифровими платформами точного землеробства через експорт даних у форматах CSV, GeoJSON або через API. Наприклад, John Deere Operations Center підтримує інтеграцію з даними машин і телематикою JDLink, а OneSoil має API та інтеграцію з John Deere Operations Center. Платформа «Агропрофіль» використовується для планування робіт, GPS-контролю техніки та ведення інформації по полях.

У межах даної роботи доцільно передбачити не пряму заводську інтеграцію з JDLink, а можливість експорту даних із модернізованого блока керування у вигляді файлу з прив'язкою до координат. Такий підхід є більш реалістичним, оскільки саморобний блок на ESP32 не є штатним ISOBUS-контролером John Deere, але може формувати дані для подальшого аналізу в аграрних платформах. Склад електронної частини модернізованої сівалки наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5. – Склад електронної частини модернізованої системи контролю висіву

Елемент	Кількість	Призначення
Оптичний датчик E18-D80NK	8 шт.	Контроль проходження насіння
ESP32	1 шт.	Обробка сигналів від датчиків
DC-DC 12/5 В	1 шт.	Живлення електроніки
Кабель сигнальний	20–22 м	Передача сигналів
Захисний корпус	1 шт.	Захист електронного блока
Дисплей / планшет	1 шт.	Виведення інформації оператора
GPS/RTK-модуль	1 шт.	Прив'язка даних до координат поля

3.3.2. Теоретичні залежності для розрахунку системи

Під час роботи сівалки на швидкостях 862–9 км/год через кожну висівну секцію проходить значний потік насіння, тому система контролю повинна

забезпечувати достатню швидкодiю та точнiсть реєстрацiї iмпульсiв. Для соняшнику середня норма висiву становить 55–60 тис. насiнин/га. При мiжряддi 70 см та швидкостi руху агрегату 9 км/год кiлькiсть насiнин, що проходять через одну висiвну секцiю за секунду, визначається за формулою:

$$n = (V * N) / (3600 * 10000 * m) \quad (3.1)$$

де:

n - кiлькiсть насiнин за секунду, шт/с;

V - швидкiсть руху агрегату, м/год;

N - норма висiву, нас./га;

m - кiлькiсть висiвних секцiй.

Через одну висiвну секцiю проходить у середньому близько 2 насiнин за секунду. Це свiдчить про те, що оптичний датчик E18-D80NK iз часом реакцiї до 2 м/с має достатню швидкодiю для стабiльної роботи навiть при максимальних робочих швидкостях сiвалки.

Для забезпечення стабiльної роботи системи важливе значення має правильний вибiр мiсця встановлення датчика. Аналiз конструкцiї висiвної секцiї показав, що найбільш доцiльною є установка датчика у частинi насiннєпроводу на вiдстанi 120–150 мм вiд висiвного апарата. У данiй зонi забезпечується:

- стабiльна траєкторiя руху насiння;
- мiнiмальний вплив ґрунтового пилу;
- зниження рiвня механiчних коливань;
- зручнiсть монтажу та технiчного обслуговування.

Однiєю з основних вимог до модернiзованого вузла є забезпечення жорсткостi конструкцiї кронштейна при мiнiмальнiй масi. Надмiрна маса конструкцiї може призводити до додаткових вiбрацiй висiвної секцiї та ускладнювати монтаж обладнання. Саме тому для виготовлення кронштейна

обрано листову сталь Ст3 товщиною 3 мм, яка характеризується достатньою міцністю та високою технологічністю.

Попередньо конструкція кронштейна приймається Г-подібної форми. Така конструкція забезпечує:

- простоту виготовлення;
- достатню жорсткість;
- можливість регулювання положення датчика;
- компактність розміщення на висівній секції.

Орієнтовні геометричні параметри кронштейна приймаються такими:

- довжина горизонтальної полиці - 80 мм;
- висота вертикальної частини - 60 мм;
- ширина кронштейна - 40 мм;
- товщина металу - 3 мм.

Загальна маса датчика разом із елементами кріплення та кабелем становить приблизно 0,12 кг. Незважаючи на невелику масу обладнання, під час руху агрегату по нерівностях поля виникають значні динамічні навантаження та вібрації, які можуть у декілька разів перевищувати статичне навантаження.

1. Оцінка точності висіву

Одним із головних показників якості роботи сівалки точного висіву є точність висіву. Її можна оцінити за співвідношенням заданої кількості висівів і кількості пропусків:

$$\tau = \frac{N_3 - N_{\text{п}}}{N_3} \cdot 100 \quad (3.2)$$

Де

τ - точність висіву, %;

N_3 - задана кількість висівів, шт.;

$N_{\text{п}}$ - кількість пропусків, шт.

Для порівняння роботи базової та модернізованої системи також можна використати відносне зменшення кількості пропусків:

$$\Delta N_{\Pi} = \frac{N_{\Pi.б} - N_{\Pi.м}}{N_{\Pi.б}} \cdot 100 \quad (3.3)$$

Де

ΔN_{Π} - відносне зменшення пропусків, %;

$N_{\Pi.б}$ - кількість пропусків при роботі базової системи, шт.;

$N_{\Pi.м}$ - кількість пропусків після модернізації, шт.

2. Відстань між насінинами у рядку

Для забезпечення заданої густоти стояння рослин необхідно визначити розрахункову відстань між насінинами у рядку. Загальна довжина рядків на 1 га визначається залежністю:

$$L_p = \frac{10000}{B} \quad (3.4)$$

Де

L_p - сумарна довжина рядків на 1 га, м;

B - ширина міжряддя, м;

10000 - площа одного гектара, м².

Відстань між сусідніми насінинами у рядку:

$$a = \frac{L_p}{N} = \frac{10000}{B \cdot N} \quad (3.5)$$

Де

a - відстань між насінинами у рядку, м;

N - норма висіву, насінин/га.

3. Подача насіння однією висівною секцією

Кількість насінин, що проходить через одну висівну секцію за одиницю часу, залежить від швидкості руху агрегату та розрахункової відстані між насінинами:

$$q = \frac{v}{a} \quad (3.6)$$

Де

q - подача насіння однією секцією, нас./с;

v - поступальна швидкість руху агрегату, м/с;

a - відстань між насінинами у рядку, м.

Інтервал часу між проходженням двох сусідніх насінин через зону контролю:

$$\Delta t = \frac{1}{q} = \frac{a}{v} \quad (3.7)$$

Де

Δt - часовий інтервал між двома сусідніми насінинами, с.

4. Частота імпульсів оптичного датчика

Оскільки кожна насінина, проходячи через контрольну зону, формує один імпульс, частота імпульсів датчика дорівнює подачі насіння:

$$f_d = q = \frac{v}{a} \quad (3.8)$$

Де

f_d - частота імпульсів одного датчика, Гц.

Для восьмирядної сівалки сумарна частота імпульсів усіх датчиків становить:

$$f_\Sigma = m \cdot f_d = m \cdot \frac{v}{a} \quad (3.9)$$

Де

f_Σ - сумарна частота імпульсів від усіх висівних секцій, Гц;

m - кількість висівних секцій, шт.

5. Перевірка швидкодії датчика

Для надійної фіксації насіння час реакції датчика повинен бути меншим за мінімальний інтервал між насінинами:

$$t_p \leq k_t \cdot \Delta t \quad (3.10)$$

Де

t_p - час реакції датчика, с;

k_t - допустима частка інтервалу між насінинами, приймається 0,1...0,2;

Δt - інтервал між сусідніми насінинами, с.

Коефіцієнт запасу за швидкодією датчика можна визначити як:

$$K_{\text{ш}} = \frac{\Delta t}{t_p} \quad (3.11)$$

Де

$K_{\text{ш}}$ - коефіцієнт запасу за швидкодією.

6. Час перебування насінини в зоні контролю

Якщо довжина активної оптичної зони датчика дорівнює l_3 , а швидкість руху насінини через насіннєпровід становить v_n , то час проходження насінини через контрольну зону визначається:

$$t_3 = \frac{l_3}{v_n} \quad (3.12)$$

Де

t_3 - час перебування насінини у зоні контролю, с;

l_3 - довжина активної зони контролю, м;

v_n - швидкість руху насінини в насіннєпроводі, м/с.

Умова надійного формування імпульсу:

$$t_3 \geq t_p \quad (3.13)$$

Де

t_p - час реакції оптичного датчика, с.

7. Швидкість руху насінини у насіннєпроводі

Для попередньої інженерної оцінки швидкість насінини після проходження певної висоти падіння можна визначити з рівняння енергії:

$$v_n = \sqrt{v_0^2 + 2gh} \quad (3.14)$$

Де

v_n - швидкість насінини в контрольній зоні, м/с;

v_0 - початкова швидкість насінини після виходу з висівного апарата, м/с;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

h - висота падіння насінини від зони скидання до місця встановлення датчика, м.

Якщо початковою швидкістю можна знехтувати, формула набуває вигляду:

$$v_H = \sqrt{2gh} \quad (3.15)$$

8. Частота обертання висівного диска

За умови, що висівний диск має z отворів або комірок, а одна висівна секція повинна подавати q насінин за секунду, частота обертання диска визначається:

$$n_d = \frac{q}{z} \quad (3.16)$$

Де

n_d - частота обертання висівного диска, об/с;

q - подача насіння однією секцією, нас./с;

z - кількість отворів або комірок на висівному диску, шт.

Частота обертання у хвилину:

$$n_{d.xv} = 60 \cdot n_d \quad (3.17)$$

Кутова швидкість диска:

$$\omega = \frac{2\pi n_{d.xv}}{60} \quad (3.18)$$

Де

ω - кутова швидкість висівного диска, рад/с;

$n_{d.xv}$ - частота обертання диска, об/хв.

9. Окружна швидкість отворів висівного диска

Окружна швидкість точки, розташованої на радіусі R , визначається:

$$v_o = \omega R \quad (3.19)$$

Де

v_o - окружна швидкість отворів висівного диска, м/с;

ω - кутова швидкість диска, рад/с;

R - радіус розміщення отворів на диску, м.

Цей параметр важливий для оцінки стабільності захоплення та скидання насіння у насіннєпровід.

10. Умова утримання насінини на отворі пневматичного диска

Для пневматичного висівного апарата сила присмокування насінини до отвору диска визначається:

$$F_B = \Delta p \cdot A_o \quad (3.20)$$

Де

F_B - сила вакуумного утримання насінини, Н;

Δp - різниця тиску між атмосферним середовищем і вакуумною камерою, Па;

A_o - площа отвору висівного диска, м².

Площа круглого отвору:

$$A_o = \frac{\pi d_o^2}{4} \quad (3.21)$$

Де

d_o - діаметр отвору висівного диска, м.

Умова надійного утримання насінини:

$$F_B \geq k_3 (G + F_{\text{ц}} + F_{\text{оп}}) \quad (3.22)$$

Де

k_3 - коефіцієнт запасу;

$G = m_H g$ - вага насінини, Н;

$F_{\text{ц}} = m_H \omega^2 R$ - відцентрова сила, Н;

$F_{\text{оп}}$ - додатковий опір від тертя, коливань і взаємодії насіння з диском, Н;

m_H - маса однієї насінини, кг.

11. Розрахунок продуктивності електронного блока керування

Мікроконтролер повинен обробляти сигнали від усіх висівних секцій без втрати імпульсів. Загальна кількість імпульсів за секунду:

$$f_{\Sigma} = m \cdot f_d \quad (3.23)$$

Якщо час обробки одного імпульсу становить $t_{\text{обр}}$, то завантаження мікроконтролера визначається:

$$\eta = f_{\Sigma} \cdot t_{\text{обр}} \cdot 100 \quad (3.24)$$

Де

η - завантаження мікроконтролера, %;

f_{Σ} - сумарна частота імпульсів, Гц;

$t_{\text{обр}}$ - час програмної обробки одного імпульсу, с.

12. Розрахункове навантаження на захисно-кріпильний вузол

Захисно-кріпильний вузол датчика працює в умовах вібрацій, запиленості та можливих ударних навантажень. Тому розрахункову силу доцільно визначати з урахуванням статичної, інерційної та ударної складових:

$$F_p = k_d(m_b g + m_b a_b + F_y) \quad (3.25)$$

Де

F_p - розрахункове навантаження на вузол, Н;

k_d - коефіцієнт динамічності;

m_b - маса встановленого вузла, кг;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

a_b - вібраційне прискорення висівної секції, м/с²;

F_y - можлива короткочасна ударна сила від рослинних решток або грудок ґрунту, Н.

13. Перевірка жорсткості кронштейна

Прогин консольного кронштейна під дією сили на кінці визначається:

$$f = \frac{F_p l^3}{3EI} \quad (3.26)$$

Де

f - прогин кронштейна, мм;

F_p - розрахункове навантаження, Н;

l - довжина консолі, мм;

E - модуль пружності матеріалу, МПа;

I - момент інерції перерізу, мм⁴.

Умова жорсткості:

$$f \leq [f] \quad (3.27)$$

Де

$[f]$ - допустимий прогин, мм.

14. Перевірка зминання отворів у кронштейні

Напруження зминання у зоні контакту болта з отвором пластини визначається:

$$\sigma_{зм} = \frac{F_p}{i d_\delta \delta} \quad (3.28)$$

Де

$\sigma_{зм}$ - напруження зминання, МПа;

i - кількість болтів, шт.;

d_δ - діаметр болта, мм;

δ - товщина пластини, мм.

Умова міцності на зминання:

$$\sigma_{зм} \leq [\sigma_{зм}] \quad (3.29)$$

Де

$[\sigma_{зм}]$ - допустиме напруження зминання, МПа.

Для врахування динамічного режиму роботи вводиться коефіцієнт динамічності:

$$k_d = 2,5$$

Тоді розрахункове навантаження на кронштейн визначається за формулою:

$$F = m * g * k_d \quad (3.30)$$

де:

m - маса датчика та елементів кріплення, кг;

g - прискорення вільного падіння, м/с²;

k_d - коефіцієнт динамічності.

3.3.3. Розрахунок параметрів роботи системи контролю висіву

Точність висіву

Для обґрунтування ефективності модернізованого вузла необхідно визначити основні параметри процесу висіву насіння соняшнику та

перевірити, чи забезпечує обраний датчик достатню швидкодію для роботи в реальних умовах.

Точність висіву можна оцінити за співвідношенням заданої кількості висівів і кількості пропусків:

$$\tau = ((N_3 - N_{\pi}) / N_3) \times 100 \quad (3.31)$$

де:

τ - точність висіву, %;

N_3 - задана кількість висіяного насіння, шт.;

N_{π} - кількість пропусків, шт.

Для площі 110 га та норми висіву 60000 насінин/га загальна кількість насіння становить:

$$N_3 = 110 * 60000 = 6600000 \text{ шт.} \quad (3.32)$$

Якщо прийняти кількість пропусків на рівні 5 %, то:

$$N_{\pi} = 6600000 \times 0,05 = 330000 \text{ шт.} \quad (3.33)$$

Тоді точність висіву становитиме:

$$\tau = ((6600000 - 330000) / 6600000) \times 100 = 95 \% \quad (3.34)$$

При використанні модернізованої системи контролю висіву кількість невиявлених пропусків може бути знижена до 2 %. У такому випадку:

$$N_{\pi} = 6600000 \times 0,02 = 132000 \text{ шт.}$$

$$\tau = ((6600000 - 132000) / 6600000) \times 100 = 98 \%$$

Отже, встановлення системи контролю проходження насіння дозволяє підвищити контрольовану точність висіву з 95 до 98 %, що є важливим показником для забезпечення рівномірної густоти стояння соняшнику.

Визначення відстані між насінинами

Для соняшнику приймаємо норму висіву:

$$N = 60000 \text{ насінин/га}$$

Ширина міжряддя сівалки VESTA 8 PROFІ становить:

$$B = 0,7 \text{ м}$$

Довжина рядка на 1 га визначається за формулою:

$$L = 10000 / B \quad (3.35)$$

$$L = 10000 / 0,7 = 14285,7 \text{ м}$$

Відстань між насінинами у рядку:

$$a = L / N \quad (3.36)$$

$$a = 14285,7 / 60000 = 0,238 \text{ м}$$

$$a \approx 23,8 \text{ см}$$

Отже, при нормі висіву 60000 насінин/га та міжрядді 70 см відстань між насінинами у рядку повинна становити приблизно 24 см.

Перевірка швидкодії датчика

Робоча швидкість агрегату приймається:

$$v = 9 \text{ км/год} = 2,5 \text{ м/с}$$

Кількість насінин, що проходять через одну висівну секцію за секунду, визначається як добуток кількості насіння на 1 м рядка та швидкості руху агрегату:

$$q = (1 / a) \times v \quad (3.37)$$

$$q = (1 / 0,238) \times 2,5 = 10,5 \text{ нас./с}$$

Час між проходженням двох сусідніх насінин:

$$t = 1 / q \quad (3.38)$$

$$t = 1 / 10,5 = 0,095 \text{ с}$$

$$t = 95 \text{ мс}$$

Час реакції оптичного датчика E18-D80NK становить до 2 мс. Отже:

$$95 \text{ мс} > 2 \text{ мс}$$

Це означає, що датчик має достатню швидкодію для фіксації проходження кожної насінини навіть при робочій швидкості агрегату 9 км/год.

Частота обертання висівного диска

Для соняшнику приймаємо висівний диск із кількістю отворів:

$$z = 20 \text{ шт.}$$

Кількість насінин, що має подавати одна секція за секунду:

$$q = 10,5 \text{ нас./с}$$

Частота обертання висівного диска визначається за формулою:

$$n_d = q / z \quad (3.39)$$

$$n_d = 10,5 / 20 = 0,525 \text{ об/с}$$

У хвилинах:

$$n_d = 0,525 \times 60 = 31,5 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість диска:

$$\omega = (2 \times \pi \times n_d) / 60 \quad (3.40)$$

$$\omega = (2 \times 3,14 \times 31,5) / 60 = 3,30 \text{ рад/с}$$

Отже, при нормі висіву 60000 насінин/га, міжрядді 70 см і швидкості руху 9 км/год висівний диск із 20 отворами повинен обертатися з частотою приблизно 31,5 об/хв.

Проведені розрахунки показують, що при вирощуванні соняшнику з нормою висіву 60000 насінин/га відстань між насінинами у рядку становить близько 24 см. При робочій швидкості агрегату 9 км/год через одну висівну секцію проходить приблизно 10,5 насінин за секунду, а інтервал між ними становить близько 95 мс. Оскільки час реакції оптичного датчика E18-D80NK не перевищує 2 мс, його швидкодії достатньо для контролю проходження насіння у реальному часі.

Також встановлено, що висівний диск із 20 отворами при заданих умовах повинен мати частоту обертання близько 31,5 об/хв. Отримані значення підтверджують можливість використання оптичного датчика у модернізованій системі контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFІ.

3.4 Висновок до розділу

У третьому розділі проведено аналіз конструкції пневматичної сівалки VESTA 8 PROFІ з шириною захвату 5,6 м та кількістю висівних секцій 8 шт. Встановлено, що штатна система контролю висіву не забезпечує оперативного моніторингу проходження насіння через кожний насіннєпровід, що може призводити до виникнення пропусків та зниження точності висіву.

У роботі запропоновано модернізовану систему контролю висіву із застосуванням 8 оптичних датчиків E18-D80NK та електронного блока керування на базі ESP32. Для роботи системи передбачено живлення 5 В через DC-DC перетворювач від бортової мережі трактора 12 В. Загальна довжина кабельної мережі системи становить близько 20–22 м.

У результаті розрахунків встановлено, що при нормі висіву 60000 насінин/га та міжрядді 70 см відстань між насінинами у рядку становить 23,8 см. При робочій швидкості агрегату 9 км/год через одну висівну секцію проходить близько 10,5 насінин за секунду, а інтервал між проходженням сусідніх насінин складає приблизно 95 мс.

Визначено, що час реакції оптичного датчика E18-D80NK становить до 2 мс, що значно менше часу проходження насіння через зону контролю. Це підтверджує достатню швидкодію та можливість стабільної роботи системи у реальних польових умовах.

Отримані результати підтверджують технічну доцільність модернізації та можливість підвищення точності контролю висіву соняшнику при використанні елементів точного землеробства.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Загальні вимоги охорони праці під час виконання посівних робіт

Посівні роботи належать до категорії технологічних процесів із підвищеною небезпекою, оскільки пов'язані з використанням машинно-тракторних агрегатів, рухомих механізмів, мінеральних добрив та значними фізичними навантаженнями на працівників. Під час виконання сівби особливу увагу необхідно приділяти технічному стану посівного агрегату, дотриманню правил експлуатації техніки та організації безпечних умов праці.

До виконання робіт допускаються особи, які пройшли медичний огляд, вступний та первинний інструктаж з охорони праці, а також мають посвідчення на право керування трактором відповідної категорії. Працівники повинні бути забезпечені спеціальним одягом, захисним взуттям, рукавицями та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до умов роботи [5].

Перед початком сівби необхідно провести технічний огляд трактора та сівалки, перевірити справність гальмівної системи, рульового керування, освітлення, систем сигналізації, а також надійність кріплення робочих органів і висівних апаратів. Особлива увага приділяється перевірці стану гідросистеми та механізмів передачі приводу висівних секцій.

Перед виїздом у поле визначають маршрути руху агрегатів, межі загінок та місця для розворотів. Робота повинна виконуватись відповідно до затвердженої технологічної карти. Забороняється перебування сторонніх осіб у зоні роботи машинно-тракторного агрегату.

Під час руху посівного агрегату забороняється:

- очищати сошники та висівні апарати;
- проводити регулювання механізмів;
- перебувати між трактором і сівалкою;
- виконувати ремонт або змащування вузлів.

Усі регулювання та технічне обслуговування дозволяється проводити лише після повної зупинки двигуна трактора та вимкнення приводу робочих органів.

Під час завантаження насіння та мінеральних добрив працівники повинні використовувати респіратори й захисні окуляри для запобігання потраплянню пилу в органи дихання та очі. Забороняється виконувати роботи з добривами без засобів індивідуального захисту.

У темний період доби сівалка повинна бути обладнана справними світловими приладами та світловідбиваючими елементами. Робота в умовах недостатньої видимості допускається лише за наявності достатнього освітлення робочої зони [5].

Таким чином, дотримання вимог охорони праці під час посівних робіт забезпечує безпечну експлуатацію техніки, зменшує ризик виробничого травматизму та сприяє підвищенню ефективності технологічного процесу сівби.

4.2. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів під час сівби

Під час виконання посівних робіт працівники можуть піддаватися впливу небезпечних та шкідливих виробничих факторів, які виникають у процесі експлуатації машинно-тракторного агрегату та роботи із посівним матеріалом.

До основних небезпечних факторів належать:

- рухомі частини трансмісії та висівних механізмів;
- можливість затягування одягу в привідні елементи;
- небезпека наїзду або перекидання агрегату;
- травмування під час зчеплення трактора із сівалкою;
- падіння працівника під час обслуговування агрегату;

- можливість розгерметизації гідравлічної системи.

Основними шкідливими виробничими факторами є:

- підвищений рівень шуму та вібрації;
- пил від насіння та мінеральних добрив;
- вихлопні гази дизельного двигуна;
- підвищена температура повітря під час роботи у весняно-літній період;
- значне нервово-емоційне навантаження механізатора.

Рівень шуму в кабіні трактора під час роботи може перевищувати допустимі значення, що негативно впливає на слух і працездатність оператора. Вібрація, яка передається через сидіння та органи керування, викликає швидку втому працівника та може призводити до професійних захворювань [4].

Під час роботи з протруєним насінням або мінеральними добривами існує ризик подразнення органів дихання та шкіри. Особливо небезпечним є потрапляння пилу в очі або тривале вдихання дрібнодисперсних частинок.

Для зменшення впливу небезпечних факторів необхідно:

- підтримувати техніку у справному стані;
- використовувати засоби індивідуального захисту;
- дотримуватись правил безпечної експлуатації агрегатів;
- проводити регулярні інструктажі з охорони праці;
- контролювати режими праці та відпочинку механізаторів.

4.3. Забезпечення працівників засобами індивідуального захисту

Працівники, задіяні у виконанні посівних робіт, повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту відповідно до характеру виконуваних операцій та вимог чинних нормативних документів.

До основних засобів індивідуального захисту належать:

- бавовняний або комбінований спецодяг;
- захисне взуття із неслизькою підошвою;
- рукавиці для роботи з металевими деталями та добривами;
- захисні окуляри;
- респіратори для роботи з пиловими матеріалами;
- головний убір для захисту від сонячного випромінювання.

Механізатор повинен працювати лише у справному спецодязі без звисаючих елементів, які можуть потрапити до рухомих механізмів. Забороняється працювати у забрудненому одязі, просоченому паливно-мастильними матеріалами.

Після завершення робіт працівники повинні ретельно мити руки та обличчя, а при роботі з добривами — приймати гігієнічний душ і змінювати спецодяг.

5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

У сучасних умовах розвитку аграрного виробництва важливим напрямом підвищення ефективності вирощування соняшнику є забезпечення якісного виконання посівних робіт. Рівномірний висів насіння та своєчасний контроль роботи висівних секцій безпосередньо впливають на формування густоти стояння рослин, рівень польової схожості та майбутню врожайність культури. Однією з найбільш поширених проблем під час експлуатації сівалок є виникнення пропусків висіву через забивання сошників, несправності висівних апаратів або відсутність оперативного контролю проходження насіння. У результаті цього погіршується рівномірність посіву, виникають локальні ділянки пересіву та зростають втрати врожаю. У таблиці 5.1 наведено вихідні дані до виконання економічного розрахунку.

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показники	Базовий	Проектний
Площа посіву соняшнику, га	110	110
Середня врожайність, т/га	3,2	3,2
Вартість 1 т соняшнику, грн	18500	18500
Втрати врожаю через порушення висіву, %	1,2	0,5
Площа локального пересіву, га	0,8	0,3
Витрати на пересів 1 га, грн	1200	1200
Кількість відмов системи за сезон	9	3
Вартість модернізації, грн	—	30000

У даному проєкті запропоновано встановлення системи контролю та моніторингу висіву на основі датчиків проходження насіння. Для підвищення надійності роботи системи було розроблено вдосконалений захисно-

кріпильний вузол датчика, який забезпечує стабільне положення елементів системи в умовах вібраційних та механічних навантажень.

Використання системи контролю висіву дозволяє механізатору своєчасно виявляти порушення роботи висівних секцій, оперативно усувати несправності та зменшувати кількість пропусків під час виконання посівних робіт. Економічний ефект від запропонованої модернізації формується за рахунок зниження втрат урожаю та скорочення площ пересіву.

Втрати врожаю через порушення процесу висіву визначаються за формулою:

$$V_{\text{вр}} = Q * Y * Ц * K$$

де: Q – площа посіву, га; Y – урожайність, т/га; $Ц$ – вартість 1 т продукції, грн; K – коефіцієнт втрат урожаю.

Для базового варіанта:

$$V_{\text{врБ}} = 110 * 3,2 * 18500 * 0,012 = 78144 \text{ грн}$$

Для проєктного варіанта:

$$V_{\text{врП}} = 110 * 3,2 * 18500 * 0,005 = 32560 \text{ грн}$$

Таким чином, зменшення втрат урожаю становить:

$$78144 - 32560 = 45584 \text{ грн}$$

Витрати на пересів визначаються за формулою:

$$V_{\text{пер}} = S * C$$

де: S – площа пересіву, га; C – витрати на пересів 1 га, грн.

Для базового варіанта:

$$V_{\text{перБ}} = 0,8 * 1200 = 960 \text{ грн}$$

Для проєктного варіанта:

$$V_{\text{перП}} = 0,3 * 1200 = 360 \text{ грн}$$

Економія витрат на пересів становить:

$$960 - 360 = 600 \text{ грн}$$

Загальний економічний ефект визначається за формулою:

$$E_p = 45584 + 600 = 46184 \text{ грн}$$

Термін окупності капіталовкладень визначається за формулою:

$$T_o = KB / E_p$$

$$T_o = 30000 / 46184 = 0,65 \text{ року}$$

Таблиця 5.2 – Аналіз техніко-економічних показників

Показники	Базовий	Проектний
Площа посіву, га	110	110
Втрати врожаю через порушення висіву, %	1,2	0,5
Площа пересіву, га	0,8	0,3
Кількість відмов системи	9	3
Втрати врожаю, грн	78144	32560
Витрати на пересів, грн	960	360
Загальний економічний ефект, грн	—	46184
Термін окупності, років	—	0,65

Проведений техніко-економічний аналіз підтверджує доцільність використання системи контролю та моніторингу висіву при вирощуванні соняшнику на площі 110 га. Запропонована модернізація дозволяє своєчасно виявляти порушення роботи висівних секцій, зменшити кількість пропусків під час сівби та скоротити площі локального пересіву.

Використання вдосконаленої системи забезпечує зниження втрат урожаю, підвищення якості виконання посівних робіт та отримання річного економічного ефекту у розмірі 46184 грн. Термін окупності капіталовкладень становить 0,65 року, що свідчить про економічну доцільність та ефективність упровадження запропонованого технічного рішення.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

У дипломному проєкті проведено аналіз сучасних технологій вирощування соняшнику та особливостей використання систем точного землеробства при виконанні польових робіт. Встановлено, що соняшник залишається однією з найбільш рентабельних олійних культур України, а застосування сучасної техніки, GPS-навігації, RTK-корекції та цифрових платформ моніторингу дозволяє підвищити ефективність агротехнологічних процесів.

У роботі розроблено технологічну карту вирощування соняшнику на площі 110 га. Для виконання технологічних операцій використано сучасні машинно-тракторні агрегати, зокрема сівалку VESTA 8 PROFІ, трактори Case IH Puma 220, New Holland T8.380, обприскувач Amazone UX 3200 та зернозбиральний комбайн CLAAS Lexion 670. Визначено, що загальні витрати пального на виконання комплексу польових робіт становлять 4291,7 кг, а загальні затрати праці - 294,4 люд.-год.

У конструктивній частині роботи проведено модернізацію системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFІ шляхом встановлення 8 оптичних датчиків E18-D80NK та електронного блока керування на базі ESP32. Для роботи системи передбачено використання бортової мережі напругою 12 В із DC-DC перетворювачем 12/5 В. Загальна довжина кабельної мережі системи становить близько 20–22 м.

У результаті виконаних досліджень підтверджено технічну та економічну доцільність використання модернізованої системи контролю висіву та елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику. Запропоновані рішення дозволяють підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити кількість пропусків висіву, оптимізувати витрати матеріальних ресурсів та підвищити ефективність використання сучасної сільськогосподарської техніки.

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Богдан, В. О. В. К. ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО: ТЕХНОЛОГІЇ МАЙБУТНЬОГО ДЛЯ СТАЛОГО РОЗВИТКУ АГРОВИРОБНИЦТВА. Сучасна наука та освіта: стан, проблеми, перспективи: матеріали IV Міжнародної науково-практичної, 236.
2. Бойко, М. О. (2023). Точне землеробство як чинник забезпечення екологічної стійкості та захисту ґрунтів. Аграрні інновації, (22), 15-19.
3. Борисенко, В. В. (2022). Інтенсифікація технології вирощування соняшника. ББК, 72, 12.
4. Головін, Д. С. (2022). СТВОРЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ОХОРОНОЮ ПРАЦІ В СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОМУ ПІДПРИЄМСТВІ. TOPICAL ISSUES OF OCCUPATIONAL SAFETY IN THE CONTEXT OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT AND EUROPEAN INTEGRATION OF UKRAINE, 131.
5. Дейкун, В. (2023). ФУНКЦІЇ ТА ЗАВДАННЯ ОХОРОНИ ПРАЦІ В АГРОПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ. Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки». Кропивницький: ЦНТУ. 2023.– 430 с., 49.
6. Жуйков, О. Г., & Середюк, В. Ю. (2024). Технологія вирощування соняшника Clearfield®–світова історія та вітчизняний досвід. Аграрні інновації, (23), 68-74.
7. Кобець А. С., Деркач О. Д., Макаренко Д. О. Машиновикористання в рослинництві (енергетичний аналіз) : навч. посіб. Дніпро: Журфонд, 2025. 128 с. – Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/13210>
8. Кобець, А. С., Теслюк, Г. В., Пугач, А. М., Золотовська, О. В., Лепеть, Є. І., & Бойко, В. Б. (2025). Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва.

9. Лукач, В. С., Фришев, С. Г., Василюк, В. І., & Ікальчик, М. І. (2024). Точне землеробство як важливий елемент сучасного сільського господарства в Україні (Doctoral dissertation, ВП НУБіП України" Ніжинський агротехнічний інститут").
10. Мікуліна, М. О., Саржанов, Б. О., Поливаний, А. Д. (2026, March). ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ І ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ СІВАЛКИ ТОЧНОГО ВИСІВУ З МОДЕРНІЗОВАНИМ ДОЗУВАЛЬНИМ ПРИСТРОЄМ ЗА РІЗНОЇ ТВЕРДОСТІ ҐРУНТУ. In The 5 th International scientific and practical conference "Innovation and development in world science"(March 2-4, 2026) MDPC Publishing, Zurich, Switzerland. 2026. 418 p. (p. 167).
11. Москалюк, І., Сакун, М., Безалтична, О., Москалюк, А., & Пуріч, В. (2022). Охорона праці, професійні захворювання та травматизм у сільському господарстві. Аграрний вісник Причорномор'я, (102-103).
12. Пінковський, Г. В., & Танчик, С. П. (2022). Оптимізація елементів технології вирощування соняшника в Правобережному Степу України. РОЗДІЛ 1 ОСОБЛИВОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙ В АГРОПРОМИСЛОВУ ДІЯЛЬНІСТЬ, 275.
13. Рудік, О. Л., Сергєєв, Л. А., & Римар, Д. Є. (2022). Аналіз та агроекологічне обґрунтування вирощування соняшника в проміжних посівах.
14. Суріна, Г. Ю., & Чуприна, Б. О. (2024). Потенціал розвитку точного землеробства в Україні. РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ, 37.
15. ТИМЧИШИН, О., & РУДАВСЬКА, Н. (2022). СОНЯШНИК: СУЧАСНИЙ СТАН ВИРОБНИЦТВАТА ВИМОГИ ДО УМОВ ВИРОЩУВАННЯ. *Агронаука і практика*, 1(2), 14-18.
16. Ткачук, О. П., & Бондарук, Н. В. (2023). Фактори інтенсифікації та екологізації вирощування соняшнику. Аграрні інновації. 2023.№ 18. С. 120-127. DOI: <https://doi.org/10.32848/agrar.innov.2023.18.17>.
17. Хоненко, Л. Г., Гамаюнова, В. В., Бакланова, Т. В., & Пилипенко, Т. В. (2025). Аналіз сучасних підходів до вирощування високоолеїнового соняшнику. Збірник праць учасників хіі міжнародної науково-практичної

конференції «органічне виробництво і продовольча безпека: цифрові технології та інновації», 164.

18. Шевченко, А. А., Петренко, О. П., & Гелас, В. М. (2024). Стратегічний розвиток вирощування соняшнику в Україні: виклики та перспективи.

19. Abioye, E. A., Hensel, O., Esau, T. J., Elijah, O., Abidin, M. S. Z., Ayobami, A. S., ... & Nasirahmadi, A. (2022). Precision irrigation management using machine learning and digital farming solutions. *AgriEngineering*, 4(1), 70-103.

20. Ammar, E. E., Aziz, S. A., Zou, X., Elmasry, S. A., Ghosh, S., Khalaf, B. M., ... & Younis, F. E. (2024). An in-depth review on the concept of digital farming. *Environment, Development and Sustainability*, 1-27.

21. Carolan, M. (2022). Acting like an algorithm: Digital farming platforms and the trajectories they (need not) lock-in. In *Social innovation and sustainability transition* (pp. 107-119). Cham: Springer Nature Switzerland.

22. Kokhan, S., Burshtynska, K., Bykin, A., Bilous, L., Drozdovskyi, O., & Temna, Y. (2024). Digital farming technologies: Modern state and challenges. In *Nexus of Sustainability: Understanding of FEWSE Systems I* (pp. 255-280). Cham: Springer Nature Switzerland.

23. Mykhaylichenko Y. Digital Farming : tutorial / Y. Mykhaylichenko, O. Derkach, I. Volovyk ; Dnipro State Agrarian and Economic University. – Dnipro : Zhurfond, 2023. – 103 p. – Режим доступу : <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/9822>

ДОДАТКИ

Додаток А

Технологічна карта вирощування соняшника з інтенсивним обробітком ґрунту на площі 110 га

№п/п	Операції	Од. виміру	Обсяг роботи	Склад агрегату			к-сть с.-г.м.	Годинна продуктивність	Потрібно для викон робіт		Норма витрати		Пального всього, кг	Затрати праці, люд-год	К-сть нормо-змін	Обсяг роботи, у.е.га
				трактор	зіплка	с.-г. м.			тракторис.	доп.прац.	кг/га	люд.-го д/га				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Оранка ґрунту	га	110	Case IH Puma 220	—	Lemken Juwel 8	1	1,25	1	—	23,3	0,80	1980,0	88,0	12,57	145,20
2	Боронування	га	110	Deutz-Fahr Agrottron 6155	—	Hatzenbichler 12 м	1	12,3	1	—	13,4	0,13	1474,0	14,3	1,28	14,76
3	Внесення карбаміду	га	110	Case IH Puma 220	—	Rauch Axis 30.2	1	17,2	1	—	13	0,12	54,4	13,2	0,91	10,55
4	Культивація	га	110	New Holland T8.380	—	Köckerling Allrounder 1200	1	10,57	1	—	1,8	0,19	198,0	20,9	1,49	6,24
5	Ранньовесняне боронування	га	110	Massey Ferguson 5711	—	Hatzenbichler 12 м	1	12,3	1	—	4,2	0,13	462,0	14,3	1,28	5,37
6	Посів	га	110	Case IH Maxxum 150	—	VESTA 8 PROFI	1	16,5	1	—	4,2	0,12	462,0	13,2	0,95	4,00
7	Внесення гербіциду	га	110	Case IH Puma 220	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	2,4	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
8	Внесення гербіциду	га	110	John Deere 6R 110	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	5,2	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
9	Позакореневе підживлення	га	110	Case IH Puma 220	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	5,2	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
10	Збір врожаю	га	110	CLAAS Lexion 670	—	—	1	3,43	1	—	13,5	0,58	1485,0	63,8	4,58	
11	Транспортування	т	363	MAN TGS 18.440	—	—	1	11,93	1	—	13,5	0,08	184,0	46,9	4,35	
													7091,4	294,4	44,93	192,51
													На 1 га	590,9	24,5	16,04

Додаток Б – Графічний матеріал

ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра експлуатації машинно-тракторного парку

Підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику із використання систем точного землеробства

Демонстраційний матеріал до дипломної роботи освітнього ступеня «Бакалавр»

Виконав: студент 4 курсу, групи АІ-2-22 за

спеціальністю 208 «Агроінженерія»

Кузьменко Роман Михайлович

Керівник: к.т.н., доцент Макаренко Дмитро Олександрович

Огляд мети роботи

Метою даної роботи є дослідження та обґрунтування шляхів підвищення ефективності польових робіт при вирощуванні соняшнику за рахунок використання елементів точного землеробства та модернізації системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFІ.

У процесі виконання роботи передбачено використання сучасних систем GPS-навігації, технологій моніторингу польових робіт, електронних систем контролю висіву насіння та цифрових засобів аналізу ефективності технологічних операцій.

Основна увага зосереджена на підвищенні точності висіву насіння, зменшенні втрат матеріальних ресурсів, оптимізації роботи машинно-тракторних агрегатів, а також на покращенні економічних показників виробництва соняшнику шляхом впровадження сучасних технологій точного землеробства.

Результати дослідження спрямовані на оцінку технічної та економічної доцільності використання модернізованої системи контролю висіву і можуть бути використані у виробничій діяльності аграрних підприємств.

Актуальність культури соняшнику в сучасних умовах

Таблиця 1.1 Економічна оцінка вирощування соняшнику порівняно з іншими культурами (2025 р.)

Культура	Загальні витрати, грн/га	Урожайність, т/га	Прибуток, грн/га	Рентабельність, %
Соняшник	37 750	3,3	39 965	106
Кукурудза	47 440	7,2	35 360	75
Озимий ріпак	40 600	3,3	32 000	79
Соя	38 600	3,2	20 920	54
Озима пшениця	40 100	4,5	21 650	54

Таблиця 1.2 Основні напрями використання продукції та відходів соняшнику

Частина рослини або продукт	Основне використання
Насіння	Виробництво соняшникової олії
Олія	Харчова промисловість, біодизель, косметика
Жмих та шрот	Високобілкові корми для тварин
Лушпиння	Паливні пелети, брикети, опалення
Стебла та листя	Біогаз, органічні добрива, целюлоза
Зола після спалювання	Мінеральні добрива
Кошки соняшнику	Кормові добавки та біопаливо

	 СОНЯШНИК MAS 98.K	 КУКУРУДЗА MAS 30.M	 ОЗИМИЙ РІПАК MIRANDA	 СОЯ
Добрива за технології	Нітроамфоска 200 кг + В	Карбамід 200 кг	Діамфоска 100 кг + Амича солтра 200 кг + В + Мп	Діамфоска 150 кг + В + М
Оренда землі	11 500	11 500	11 500	11 500
Насіння*	2 650	4 540	1 500	3 000
Вартість робриб	4 300	3 500	6 700	5 000
ЗЗР (оригінальні продукти)**	5 200	4 500	6 500	5 000
Паливо та мастильні матеріали	3200	3000	3500	3200
Зарплата та податки	2200	2000	2500	2500
Послуги збирання та транспортування	2500	3500	2200	2500
Сушка + очистка	1000	7700	1000	1000
Загальновиробничі витрати	3000	3000	3000	3000
Адміністративні витрати	1200	1200	1200	1200
Логістика	1000	3000	1200	1000
УСЬОГО ВИТРАТИ на 1 г., грн без ПДВ	37 750	47 440	40 600	38 600
Група стиглості	середикостилий	середностий	середноранній	середностий
Урожайність, т/га	3,3	9,2	3,3	3,2
Вологість, %	7	14 (17)	7	14-16
Олійність, %	52	-	47	-
Олійність, грн т/т	350	-	350	-
Ціна реалізації (DAP завод)	22 550	9 000	20 600	18 063
СОБІВАРІСТЬ, т	11 439	5 157	12 303	12 063
ПРИБУТОК на 1 г., грн без ПДВ	39 965	35 360	32 000	20 920
РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, %	106	75	79	54

Рис. 1. Ефективність вирощування сільськогосподарських культур на 2025-2026 роки у розрахунку на 1 га

Аналіз технологій вирощування соняшнику та використання елементів точного землеробства

Таблиця 2.1 Порівняльна характеристика сучасних систем обробітку ґрунту

Система обробітку	Характеристика технології	Переваги	Обмеження
Традиційна	Оранка та багаторазова культивування	Якісне розпушення ґрунту	Високі витрати пального
Mini-till	Мінімальний поверхневий обробіток	Збереження вологи та менше ущільнення	Потребує сучасної техніки
Strip-till	Обробіток лише посівних смуг	Економія добрив і пального	Складність налаштування
No-till	Відмова від механічного обробітку	Максимальне збереження вологи	Високі вимоги до захисту рослин

Таблиця 2.2 Ефективність використання елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику

Технологія	Основне призначення	Економічний або технологічний ефект
GPS-навігація	Контроль траєкторії руху техніки	Зменшення перекриттів до 10 %
RTK-корекція	Підвищення точності польових робіт	Точність руху до $\pm 2,5$ см
Автопілот	Автоматичне керування агрегатом	Економія пального 8–15 %
Диференційоване внесення добрив	Локальне внесення добрив	Зменшення витрат добрив на 10–20 %
Системи контролю висіву	Контроль проходження насіння	Зниження кількості пропусків
Агродрони	Моніторинг стану посівів	Оперативне виявлення проблемних зон
Карти врожайності	Аналіз продуктивності поля	Оптимізація технології вирощування



Рис. 2.1 - Сівба соняшника сівалкою точного висіву



Рис. 2.2 – Використання карти поля у точному землеробстві

Технологічна карта вирощування сояшника на площі 110 га

№п/п	Операції	Од. виміру	Обсяг роботи	Склад агрегату			К-сть с.-г.м.	Годинна продуктивність	Потрібно для викон робіт		Норма витрати		Пального всього, кг	Затрати праці, люд-год	К-сть нормо-змін	Обсяг роботи, у.е.га
				трактор	зчіпка	с.-г.м.			тракторис.	доп.прац.	кг/га	праці людини люд-год/га				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Оранка ґрунту	га	110	Case IH Puma 220	—	Lemken Juwel 8	1	1,25	1	—	23,3	0,80	1980,0	88,0	12,57	145,20
2	Боронування	га	110	Deutz-Fahr Agrottron 6155	—	Hatzenbichler 12 м	1	12,3	1	—	13,4	0,13	1474,0	14,3	1,28	14,76
3	Внесення карбаміду	га	110	Case IH Puma 220	—	Rauch Axis 30.2	1	17,2	1	—	13	0,12	54,4	13,2	0,91	10,55
4	Культивація	га	110	New Holland T8.380	—	Köckerling Allrounder 1200	1	10,57	1	—	1,8	0,19	198,0	20,9	1,49	6,24
5	Ранньовесняне боронування	га	110	Massey Ferguson 5711	—	Hatzenbichler 12 м	1	12,3	1	—	4,2	0,13	462,0	14,3	1,28	5,37
6	Посів	га	110	Case IH Maxxum 150	—	VESTA 8 PROFI	1	16,5	1	—	4,2	0,12	462,0	13,2	0,95	4,00
7	Внесення гербіциду	га	110	Case IH Puma 220	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	2,4	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
8	Внесення гербіциду	га	110	John Deere 6R 110	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	5,2	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
9	Позакореневе підживлення	га	110	Case IH Puma 220	—	Amazone UX 3200	1	30,96	1	—	5,2	0,06	264,0	6,6	0,51	2,13
10	Збір врожаю	га	110	CLAAS Lexion 670	—	—	1	3,43	1	—	13,5	0,58	1485,0	63,8	4,58	
11	Транспортування	т	363	MAN TGS 18.440	—	—	1	11,93	1	—	13,5	0,08	184,0	46,9	4,35	
													7091,4	294,4	44,93	192,51
На 1 га													590,9	24,5	3,7	16,04

Розробка модернізованої системи контролю висіву сівалки Vesta 8 Profi



Рис. 3.1 – Загальний вигляд сівалки Vesta 8 Profi



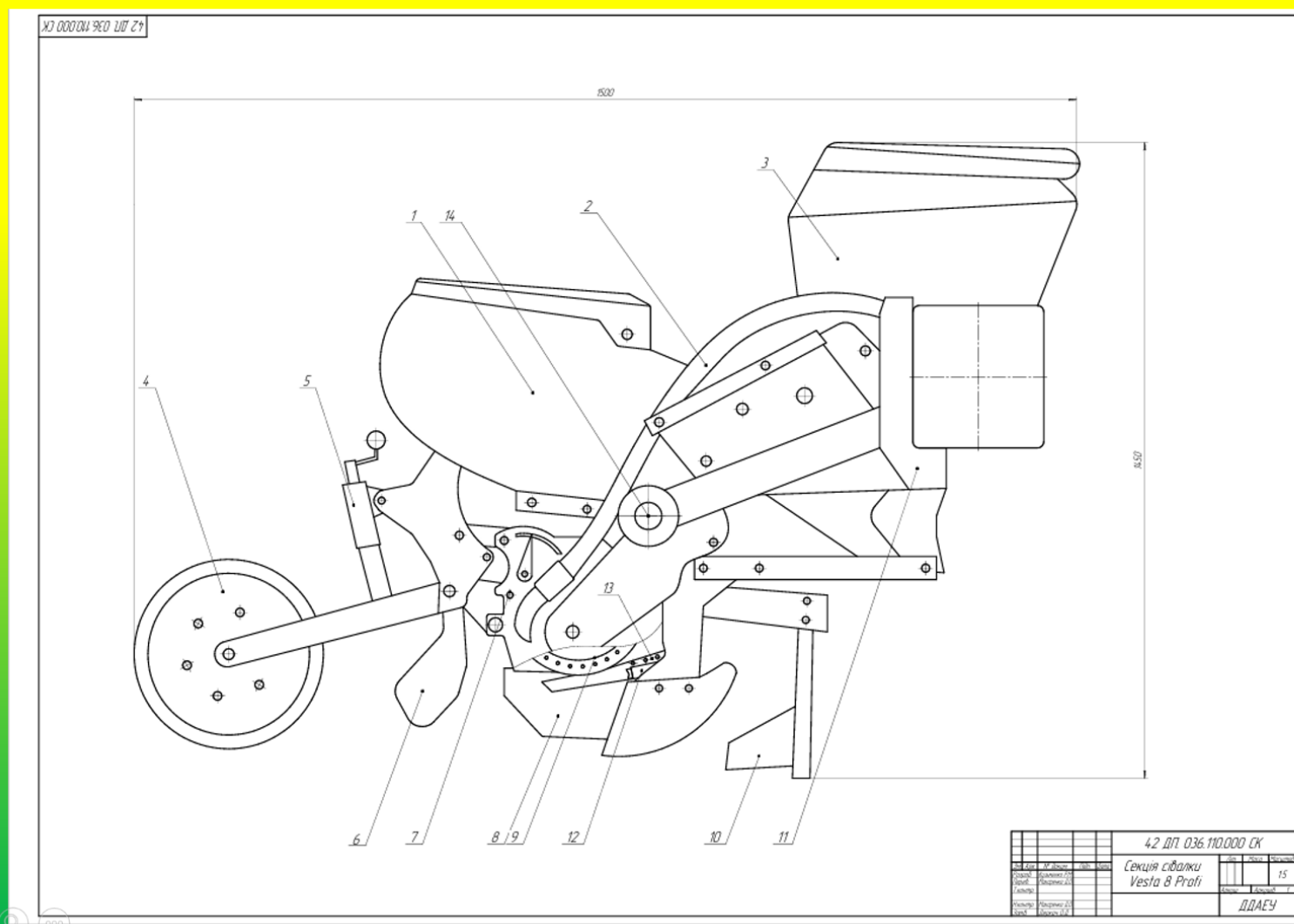
Рис. 3.2 – Інфрачервоного оптичний датчик E18-D80NK

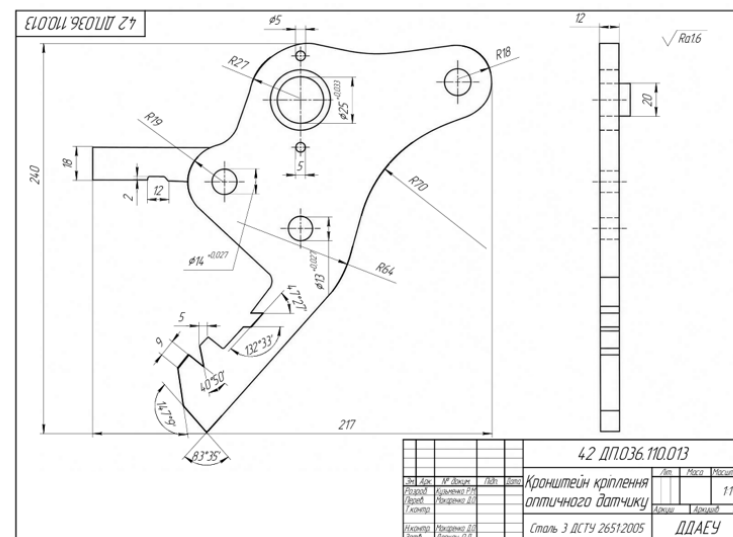
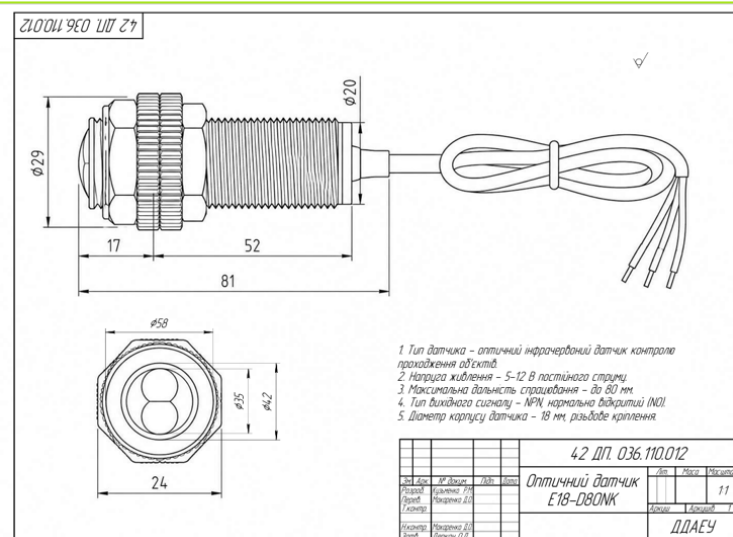
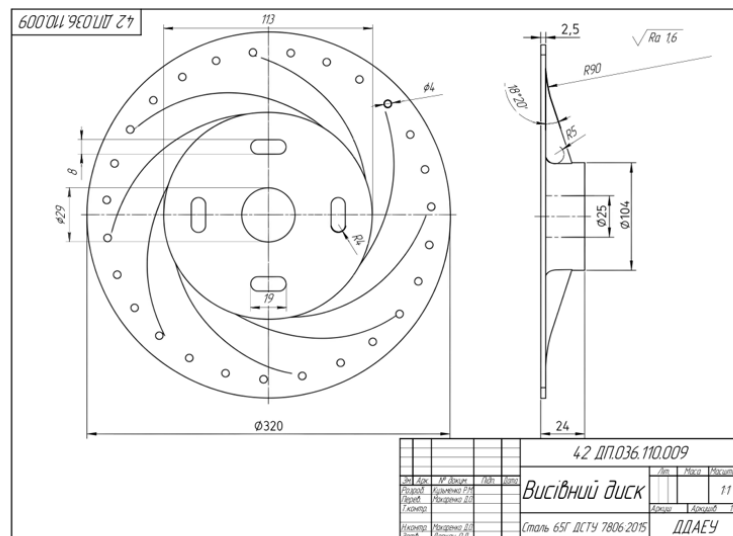
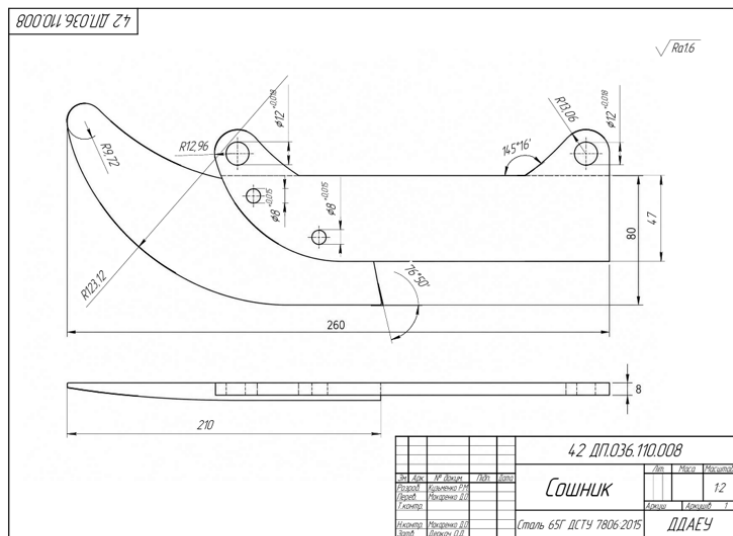
Табл. 3.1. – Основні результати інженерних розрахунків системи контролю висіву

Показник	Отримане значення
Норма висіву соняшнику	60000 нас./га
Ширина міжряддя	70 см
Відстань між насінинами у рядку	23,8 см
Робоча швидкість агрегату	9 км/год
Кількість насінин через 1 секцію	10,5 нас./с
Інтервал між насінинами	95 мс
Час реакції датчика E18-D80NK	≤ 2 мс
Частота обертання висівного диска	31,5 об/хв
Кутова швидкість диска	3,30 рад/с
Кількість оптичних датчиків	8 шт.
Напруга живлення системи	5 В
Довжина кабельної мережі	20–22 м
Точність висіву базової системи	95%
Точність висіву після модернізації	98%

Табл. 3.2. – Склад електронної частини модернізованої системи контролю висіву

Елемент	Кількість	Призначення
Оптичний датчик E18-D80NK	8 шт.	Контроль проходження насіння
ESP32	1 шт.	Обробка сигналів від датчиків
DC-DC 12/5 В	1 шт.	Живлення електроніки
Кабель сигнальний	20–22 м	Передача сигналів
Захисний корпус	1 шт.	Захист електронного блока
Дисплей / планшет	1 шт.	Виведення інформації оператора
GPS/RTK-модуль	1 шт.	Прив'язка даних до координат поля





Економічна доцільність модернізованої сівалки

Таблиця 5.1 – Вихідні дані

Показники	Базовий	Проектний
Площа посіву соняшнику, га	110	110
Середня врожайність, т/га	3,2	3,2
Вартість 1 т соняшнику, грн	18500	18500
Втрати врожаю через порушення висіву, %	1,2	0,5
Площа локального пересіву, га	0,8	0,3
Витрати на пересів 1 га, грн	1200	1200
Кількість відмов системи за сезон	9	3
Вартість модернізації, грн	–	30000

Таблиця 5.2 – Аналіз техніко-економічних показників

Показники	Базовий	Проектний
Площа посіву, га	110	110
Втрати врожаю через порушення висіву, %	1,2	0,5
Площа пересіву, га	0,8	0,3
Кількість відмов системи	9	3
Втрати врожаю, грн	78144	32560
Витрати на пересів, грн	960	360
Загальний економічний ефект, грн	–	46184
Термін окупності, років	–	0,65

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дипломному проєкті проведено аналіз сучасних технологій вирощування соняшнику та особливостей використання систем точного землеробства при виконанні польових робіт. Встановлено, що соняшник залишається однією з найбільш рентабельних олійних культур України, а застосування сучасної техніки, GPS-навігації, RTK-корекції та цифрових платформ моніторингу дозволяє підвищити ефективність агротехнологічних процесів.

У роботі розроблено технологічну карту вирощування соняшнику на площі 110 га. Для виконання технологічних операцій використано сучасні машинно-тракторні агрегати, зокрема сівалку VESTA 8 PROFI, трактори Case IH Puma 220, New Holland T8.380, обприскувач Amazone UX 3200 та зернозбиральний комбайн CLAAS Lexion 670. Визначено, що загальні витрати пального на виконання комплексу польових робіт становлять 4291,7 кг, а загальні затрати праці — 294,4 люд.-год.

У конструктивній частині роботи проведено модернізацію системи контролю висіву сівалки VESTA 8 PROFI шляхом встановлення 8 оптичних датчиків E18-D80NK та електронного блока керування на базі ESP32. Для роботи системи передбачено використання бортової мережі напругою 12 В із DC-DC перетворювачем 12/5 В. Загальна довжина кабельної мережі системи становить близько 20–22 м.

У результаті виконаних досліджень підтверджено технічну та економічну доцільність використання модернізованої системи контролю висіву та елементів точного землеробства при вирощуванні соняшнику. Запропоновані рішення дозволяють підвищити точність виконання технологічних операцій, зменшити кількість пропусків висіву, оптимізувати витрати матеріальних ресурсів та підвищити ефективність використання сучасної сільськогосподарської техніки.

Дякую за увагу!