

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра агроінжинірингу

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність **208 Агроінженерія**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

агроінжинірингу

Шуляк М.Л.

“08” квітня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ (МАГІСТЕРСЬКУ) РОБОТУ ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Васильченку Олександрю Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву просапних культур типу HORSCH MAESTRO

керівник роботи: Хворост Тетяна В'ячеславівна, к.е.н., доцент

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “01” березня 2024 року № 669/ос

2. Строк подання здобувачем роботи: «19» липня 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи: 1. Нормативно-технічна документація по розробці механізованих технологічних процесів у рослинництві. 2. Науково-технічна література. 3. Літературні джерела інформації та Інтернет ресурси. 4. Монографії, тощо за темою наукового дослідження. 5. Методичні рекомендації до виконання проекту (роботи).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ. 1. Стан питання і завдання досліджень. 2. Теоретичний аналіз процесів автоматизованого електронного управління висіву. 3. Методика та результати проведення експериментальних досліджень. 4 Охорона праці. 5. Економічна доцільність. Загальні висновки. Список літературних джерел.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Хворост Т.В.		
Економічна доцільність	Мікуліна М.О.		

7. Дата видачі завдання «08» квітня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної (магістерської) роботи	Строк виконання етапів дипломної (магістерської) роботи	Погоджено з керівником дипломної (магістерської) роботи
1.	Збір інформації про діяльність господарстві	до 12.04.2024 р.	
2.	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 16.04.2024 р.	
3.	Складання плану роботи	до 19.04.2024 р.	
4.	Написання вступу	до 22.04.2024 р.	
5.	Підготовка розділу «Аналітична частина»	до 26.04.2024 р.	
6.	Підготовка розділу «Основна частина»	до 03.06.2024 р.	
7.	Підготовка розділу «Охорона праці»	до 14.06.2024 р.	
8.	Підготовка розділу «Економічна доцільність»	до 28.06.2024 р.	
9.	Написання висновків та пропозицій	до 05.07.2024 р.	
10.	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 08.07.2024 р.	
11.	Подання роботи на рецензування	до 15.07.2024 р.	
12.	Подання до попереднього захисту	до 19.07.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

Васильченко О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник дипломної
(магістерської) роботи

(підпис)

Хворост Т.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Тема роботи – «Дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву просапних культур типу HORSCH MAESTRO».

Актуальність теми роботи

Сучасне сільське господарство стоїть перед низкою викликів, які вимагають впровадження інноваційних технологій та рішень для підвищення ефективності виробництва, зменшення витрат і максимального використання ресурсів. Однією з таких інновацій є застосування електронних систем керування сівалками точного висіву, які дозволяють значно покращити процес висіву просапних культур.

Сівалки точного висіву типу HORSCH MAESTRO мають ряд переваг перед традиційними методами, зокрема, висока точність висіву, зменшення витрат на насіння, добрива та засоби захисту рослин, а також підвищення продуктивності праці. Використання електронних систем керування забезпечує можливість диференційованого висіву, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів залежно від агроекологічних умов конкретного поля.

Значення точного висіву особливо важливе для просапних культур, таких як кукурудза, соняшник, цукровий буряк та інші, оскільки їх рентабельність багато в чому залежить від якості висіву. Неправильний розподіл насіння може призвести до значних втрат врожайності, зниження якості продукції та додаткових витрат на коригуючі заходи.

Актуальність дослідження також зумовлена постійним зростанням цін на насіння та агрохімікати, що робить необхідним пошук шляхів оптимізації витрат. Електронні системи керування, інтегровані в сівалки типу HORSCH MAESTRO, здатні значно зменшити ці витрати за рахунок більш ефективного використання насіння та добрив. Крім того, впровадження таких систем сприяє покращенню екологічної ситуації, оскільки точний висів дозволяє зменшити кількість використаних хімічних речовин, що позитивно впливає на навколишнє середовище.

Таким чином, дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою точного висіву просапних культур типу HORSCH MAESTRO

є надзвичайно актуальним і важливим завданням, яке спрямоване на підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва, зменшення витрат та покращення екологічних показників аграрної діяльності.

Мета роботи: підвищення технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro шляхом дослідження електронної системи управління.

Завдання дипломної роботи магістра:

- провести аналіз технологій та способів посіву різноманітних культур та агротехнічних вимог до проведення даних операцій;
- провести аналіз конструкцій та принципів роботи сівалок та посівних комплексів, оснащених електронними системами управління.
- обґрунтувати норму внесення насіння на одиницю площі посіву;
- розробити методика та модель випробування технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro залежно від зміни технічних показників електронної системи управління;
- провести техніко-економічну оцінку методики діагностики сівалки Horsch Maestro.

Об'єкт, методи та джерела дослідження

Об'єкт дослідження. сівалка Horsch Maestro, технологічні та експлуатаційні параметри сівалки, діагностичні параметри електронної системи управління.

Предмет дослідження. закономірності зміни технологічних та експлуатаційних параметрів сівалки Horsch Maestro від параметрів електронної системи управління.

Методи дослідження. емпіричний, збір інформації та аналіз даних, аналітичні методи, проведення досліджень та вимірювання.

Наукова новизна отриманих результатів: обґрунтовано модель зміни параметрів електронної системи управління та їх вплив на технологічні та експлуатаційні параметри сівалки Horsch Maestro.

Пояснювальна записка магістерської роботи на 65 сторінках машинописного тексту, 16 рис., 3 табл., 27 літературних джерел

Ключові слова: сівалка Horsch Maestro, електронна система управління, карта врожайності, карта диференційованого висіву, GPS-навігаційна система, система контролю висіву

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Стан питання і завдання досліджень.....	9
1.1 Основні види сільськогосподарських культур та технологій їх вирощування.....	9
1.2 Огляд сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур.....	12
1.3 Основні способи посіву та вимоги до технологічного процесу.....	16
1.4 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння.....	20
1.5 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння.....	23
2 Теоретичний аналіз процесів автоматизованого електронного управління висіву.....	27
2.1 Аналіз вихідних даних	27
2.2 Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння.....	30
3 Методики та результати проведення експериментальних досліджень .	37
3.1 Вихідні дані та умови проведення досліджень.....	37
3.2 Методика та обладнання для дослідження електронної системи управління сівалкою.....	40
3.3 Результати дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою.....	41
3.4 Результати дослідження похибки дозування за несправності компонентів електронної системи управління сівалкою.....	45

4	Охорона праці.....	50
4.1	Загальні положення.....	50
4.2	Вимоги до безпеки при експлуатації сівалок точного висіву...	50
4.3	Особливості безпеки при обслуговуванні електронних систем	51
4.4	Організаційні заходи для забезпечення безпеки праці.....	51
4.5	Екологічні аспекти охорони праці.....	52
5	Економічна доцільність.....	53
5.1	Розрахунок економічного ефекту від використання пропонованої методики діагностики.....	53
	Загальні висновки.....	60
	Список використаних джерел.....	62
	Додатки	

ВСТУП

Сучасне сільське господарство знаходиться на етапі глибоких трансформацій, спричинених інтенсивним розвитком технологій та потребою у підвищенні ефективності виробничих процесів. Одним з важливих напрямків цієї трансформації є впровадження електронних систем керування в техніку для висіву просапних культур. Це особливо актуально для таких культур, як кукурудза, соняшник, цукровий буряк, соя та інші, де точність висіву значно впливає на врожайність та якість продукції.

Однією з провідних сівалок на ринку, яка використовує електронну систему керування для точного висіву, є HORSCH MAESTRO. Ця сівалка забезпечує високу точність розподілу насіння, що дозволяє зменшити витрати на насіння, добрива та засоби захисту рослин, а також підвищити продуктивність праці. Завдяки впровадженню таких систем можливе диференційоване дозування насіння, що сприяє оптимальному використанню ресурсів відповідно до агроекологічних умов конкретного поля.

Актуальність дослідження доцільності використання електронної системи керування сівалкою HORSCH MAESTRO зумовлена низкою чинників.

По-перше, зростаючі ціни на насіння та агрохімікати вимагають пошуку нових шляхів оптимізації витрат у сільському господарстві.

По-друге, підвищення вимог до екологічної безпеки виробничих процесів спонукає до мінімізації використання хімічних речовин шляхом їх більш точного дозування.

По-третє, постійне збільшення масштабів аграрного виробництва потребує впровадження інноваційних рішень для забезпечення стабільно високих врожаїв.

1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Основні види сільськогосподарських культур та технології їх вирощування

Сільське господарство є однією з найважливіших галузей економіки, що забезпечує людство продовольством, кормами для тварин та сировиною для промисловості. Одним із основних аспектів сільськогосподарського виробництва є вирощування сільськогосподарських культур, що включає різноманітні технології та методи культивування. Види сільськогосподарських культур та технології їх вирощування розглядаються нижче.

Сільськогосподарські культури поділяються на кілька основних груп:

1. Зернові культури:
 - Пшениця: Широко вирощується у багатьох країнах завдяки своїм високим харчовим та кормовим якостям. Технологія вирощування включає оранку, посів, догляд за посівами та збирання врожаю.
 - Кукурудза: Використовується для виробництва зерна, кормів, біопалива та інших продуктів. Технології вирощування включають підготовку ґрунту, сівбу, обробіток посівів та збирання врожаю.
2. Олійні культури:
 - Соняшник: Основна олійна культура, вирощування якої включає підготовку ґрунту, сівбу, догляд за посівами, обробку гербіцидами та збирання врожаю.
 - Соєві боби: Використовуються для виробництва олії та білкових продуктів. Вирощування сої включає підготовку ґрунтів, посіву, догляду, виконання робіт зі збирання.
3. Кормові культури:
 - Люцерна: Використовується для виробництва кормів для тварин. Технології вирощування включають всі технологічні операції.

○ Кормові буряки: Використовуються для виробництва кормів для тварин. Вирощування включає підготовку всіх операцій технологічних.

4. Технічні культури:

○ Бавовник: Використовується для виробництва текстильних волокон. Технології вирощування включають підготовку ґрунту, сівбу, догляд за посівами, обробку пестицидами та збирання врожаю.

○ Цукровий буряк: Використовується для виробництва цукру. Вирощування включає підготовку ґрунту, сівбу, догляд за посівами, обробку гербіцидами та збирання врожаю.

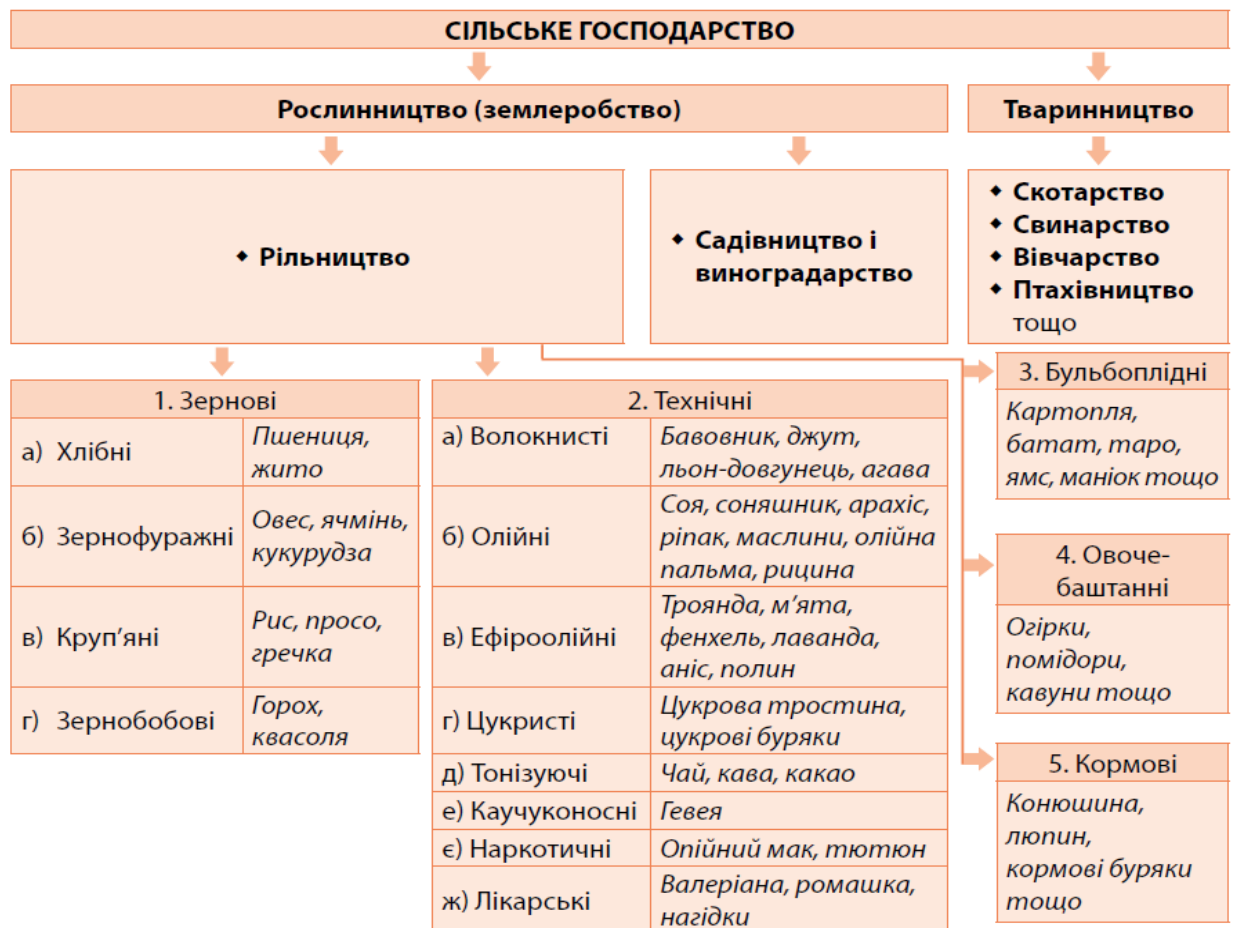


Рисунок 1.1 - Основні напрями сільськогосподарського виробництва

Технології вирощування сільськогосподарських культур

Існують різні технології вирощування сільськогосподарських культур, які залежать від виду культури, кліматичних умов та наявних ресурсів. Основні технології включають:

1. Традиційна технологія:
 - Оранка: Підготовка ґрунту шляхом оранки з метою покращення аерації та знищення бур'янів.
 - Посів: Ручний або механізований посів насіння.
 - Догляд за посівами: Включає обробку гербіцидами, пестицидами, внесення добрив та зрошення.
 - Збирання врожаю: Виконується вручну або за допомогою комбайнів.
2. Консервативна технологія:
 - Нульова обробка ґрунту: Відмова від традиційної оранки з метою збереження ґрунтової структури та зменшення ерозії.
 - Покривні культури: Вирощування культур, які захищають ґрунт від ерозії та збагачують його органічними речовинами.
3. Органічне землеробство:
 - Без використання хімікатів: Відмова від хімічних пестицидів та добрив. Замість них використовуються природні методи боротьби зі шкідниками та органічні добрива.
 - Сівозміна: Регулярна зміна вирощуваних культур для покращення родючості ґрунту та зменшення шкідників і хвороб.
4. Точне землеробство:
 - Геоінформаційні системи (ГІС): Використання ГІС для збору та аналізу даних про ґрунти, кліматичні умови та стан посівів.
 - Автопілотування та паралельне водіння: Використання GPS для точного керування сільськогосподарською технікою, що дозволяє зменшити перекриття та підвищити ефективність обробки полів.

Актуальні проблеми та виклики у вирощуванні сільськогосподарських культур

Незважаючи на розвиток технологій, вирощування сільськогосподарських культур стикається з низкою проблем та викликів, серед яких:

- Кліматичні зміни: Зміни клімату впливають на врожайність, розподіл шкідників та хвороб.
- Екологічні проблеми: Використання хімікатів призводить до забруднення довкілля та деградації ґрунтів.
- Економічні фактори: Високі витрати на насіння, добрива та засоби захисту рослин.
- Соціальні аспекти: Недостатній рівень освіти та знань фермерів щодо сучасних технологій вирощування.

Вирощування сільськогосподарських культур є складним процесом, який використовує різні технології та методи. Основні види сільськогосподарських культур включають зернові, олійні, кормові та технічні культури. Технології їх вирощування можуть бути традиційними, консервативними, органічними та точними. Незважаючи на досягнення у галузі, існує низка викликів, які потребують подальшого вивчення та впровадження інновацій для забезпечення стабільного та ефективного виробництва сільськогосподарської продукції.

1.2 Огляд сучасних технологій вирощування сільськогосподарських культур

Сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур спрямовані на підвищення врожайності, зниження собівартості виробництва, зменшення негативного впливу на навколишнє середовище та забезпечення сталого розвитку аграрного сектору. Нижче наведено огляд основних сучасних технологій, які застосовуються у вирощуванні сільськогосподарських культур.

1.2.1 Технологія точного землеробства

Точне землеробство передбачає використання сучасних інформаційних та комунікаційних технологій для управління сільськогосподарськими процесами.

Основні компоненти цієї технології включають:

1. Геоінформаційні системи (ГІС): Застосування ГІС дозволяє збирати, аналізувати та візуалізувати дані про поля, ґрунти, стан посівів та кліматичні умови. Це сприяє прийняттю обґрунтованих рішень щодо обробки ґрунту, внесення добрив та зрошення.

2. GPS-навігація та паралельне водіння: Використання GPS-навігації та систем автопілотування для точного керування сільськогосподарською технікою. Це дозволяє зменшити перекриття та оптимізувати використання пального, добрив та пестицидів.

3. Дистанційне зондування: Застосування супутникового моніторингу для виявлення шкідників та хвороб, а також оцінки врожайності.

4. Внесення добрив та засобів захисту рослин за допомогою систем змінної норми: Використання спеціальних дозаторів для диференційованого внесення добрив та пестицидів залежно від потреби рослин на різних ділянках поля.

1.2.2 Консерваційне землеробство

Консерваційне землеробство спрямоване на збереження ґрунтового покриву, підвищення родючості ґрунту та зменшення ерозії. Основні практики включають:

1. Нульова обробка ґрунту (No-till): Відмова від традиційної оранки та збереження рослинних залишків на поверхні ґрунту. Це допомагає зберегти вологу, зменшити ерозію та покращити структуру ґрунту.

2. Покривні культури: Вирощування культур, які захищають ґрунт від ерозії та збагачують його органічними речовинами. Покривні культури також допомагають боротися з бур'янами та покращують біорізноманіття.

3. Сівозміна: Регулярна зміна вирощуваних культур для покращення родючості ґрунту, зменшення шкідників та хвороб. Сівозміна також сприяє ефективнішому використанню поживних речовин.

1.2.3 Органічне землеробство

Органічне землеробство базується на використанні природних методів вирощування сільськогосподарських культур без застосування синтетичних хімікатів. Основні принципи включають:

1. Відмова від хімічних пестицидів та добрив: Використання органічних добрив, компосту, біологічних методів боротьби зі шкідниками та хворобами.

2. Збереження ґрунтової родючості: Використання сидератів, мульчування, компостування та інших методів для покращення структури ґрунту та його збагачення органічними речовинами.

3. Біорізноманіття: Підтримання високого рівня біорізноманіття за рахунок вирощування різноманітних культур, застосування сівозміни та інтегрованих систем управління шкідниками.

1.2.4 Технології інтегрованого управління шкідниками (ІРМ)

Інтегроване управління шкідниками (ІРМ) спрямоване на зменшення використання хімічних пестицидів та мінімізацію негативного впливу на довкілля.

Основні елементи ІРМ включають:

1. Моніторинг шкідників та хвороб: Регулярне спостереження за станом посівів та своєчасне виявлення шкідників та хвороб.
2. Біологічні методи боротьби: Використання природних ворогів шкідників, таких як хижі комахи, паразити та патогенні мікроорганізми.
3. Механічні методи боротьби: Застосування пасток, бар'єрів та інших механічних засобів для зменшення популяції шкідників.
4. Хімічні методи боротьби: Застосування хімічних пестицидів тільки в разі необхідності та у мінімальних кількостях.

1.2.5 Прецизійне землеробство

Прецизійне землеробство базується на використанні точних даних для оптимізації сільськогосподарських операцій. Основні компоненти включають:

1. Збір та аналіз даних: Використання сенсорів, дронів, супутникових знімків та інших технологій для збору даних про стан посівів, ґрунту та кліматичних умов.
2. Використання змінної норми внесення добрив та пестицидів залежно від потреби рослин на різних ділянках поля.

3. Автоматизація та роботизація: Використання автоматизованих систем для управління сільськогосподарською технікою, що дозволяє зменшити людський фактор та підвищити ефективність виробництва.

Отже, сучасні технології вирощування сільськогосподарських культур спрямовані на підвищення ефективності, зменшення витрат та збереження навколишнього середовища. Використання технологій точного землеробства, консерваційного та органічного землеробства, інтегрованого управління шкідниками та прецизійного землеробства дозволяє оптимізувати вирощування культур, забезпечити стабільне виробництво високоякісної продукції та підвищити рентабельність аграрного сектору.

1.3 Основні способи посіву та вимоги до технологічного процесу

Посів є однією з найважливіших технологічних операцій у вирощуванні сільськогосподарських культур, оскільки саме на цьому етапі закладаються основи майбутнього врожаю. Різні способи посіву та вимоги до технологічного процесу можуть значно впливати на ефективність використання насіння, ріст і розвиток рослин, а також на загальну продуктивність та рентабельність виробництва. Нижче наведено основні способи посіву та вимоги до технологічного процесу.

1.3.1 Способи посіву

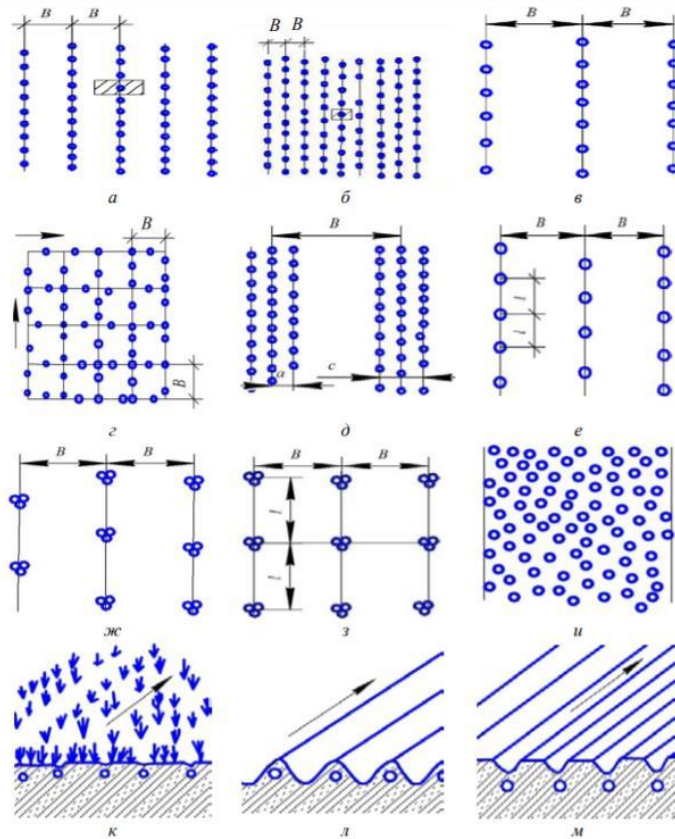


Рисунок 1.2 – Основні способи посіву та висадки насіння й розсади

1.3.1.1 Рядковий посів

Рядковий посів є найбільш поширеним способом посіву. Насіння висівається рівномірно в рядки на певній відстані один від одного. Цей спосіб забезпечує рівномірний розподіл рослин на полі та оптимальне використання площі.

Переваги:

- Забезпечує рівномірний розподіл насіння.
- Полегшує механізоване оброблення міжрядь.
- Підвищує ефективність використання добрив і засобів захисту рослин.

Недоліки:

- Вимагає високої точності виконання.
- Може потребувати додаткових витрат на техніку.

1.3.1.2 Перехресний посів

Перехресний посів передбачає висівання насіння у двох напрямках, перпендикулярних один до одного. Це дозволяє збільшити густоту рослин та забезпечити кращий контакт насіння з ґрунтом.

Переваги:

- Забезпечує рівномірний розподіл рослин.
- Поліпшує умови для росту рослин.

Недоліки:

- Вимагає більше часу і ресурсів.
- Складність механізованого догляду за посівами.

1.3.1.3 Розкидний посів

Розкидний посів здійснюється шляхом рівномірного розкидання насіння по поверхні ґрунту з наступним зароблянням у ґрунт. Цей спосіб часто використовується для вирощування трав і зернових культур.

Переваги:

- Простота і швидкість виконання.
- Можливість застосування на великих площах.

Недоліки:

- Нерівномірний розподіл насіння.
- Складність забезпечення потрібної глибини заробляння насіння.

1.3.1.4 Пунктирний посів

Пунктирний посів передбачає висівання насіння з певними інтервалами, що дозволяє точно контролювати густоту посіву. Використовується для вирощування культур, що потребують однакових умов для росту.

Переваги:

- Економія насіння.
- Рівномірний розподіл рослин.

Недоліки:

- Вимагає високої точності техніки.

- Може потребувати додаткових витрат на техніку.

1.3.2 Вимоги до технологічного процесу посіву

1.3.2.1 Підготовка ґрунту

Перед посівом ґрунт має бути належним чином підготовлений. Основні етапи підготовки включають оранку, культивацію, вирівнювання та внесення добрив. Якість підготовки ґрунту впливає на глибину заробляння насіння, аерацію та вологозабезпечення.

1.3.2.2 Вибір насіння

Важливим аспектом є вибір якісного насіння, адаптованого до конкретних ґрунтово-кліматичних умов. Насіння має бути високої схожості, без домішок і шкідників. Перед посівом насіння часто проходить передпосівну обробку для підвищення стійкості до хвороб та шкідників.

1.3.2.3 Глибина заробляння насіння

Глибина заробляння насіння залежить від типу культури, властивостей ґрунту та умов вологозабезпечення. Оптимальна глибина заробляння забезпечує добрий контакт насіння з ґрунтом, що сприяє дружнім сходам.

1.3.2.4 Норма висіву

Норма висіву визначається відповідно до агротехнічних вимог культури та умов вирощування. Правильна норма висіву забезпечує оптимальну густоту стояння рослин, що впливає на їх розвиток та врожайність.

1.3.2.5 Системи зрошення та дренажу

У регіонах з недостатнім зволоженням важливо забезпечити додаткове зрошення для підтримання оптимальної вологості ґрунту. У зонах з надлишковим зволоженням необхідно передбачити дренажні системи для запобігання застою води та загнивання насіння.

1.4 Конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння

Машини для посіву насіння є ключовими елементами в технологічному процесі вирощування сільськогосподарських культур. Їх конструктивні та функціональні особливості визначають ефективність та якість посівних операцій. Сівалки можуть бути класифіковані за різними критеріями, такими як компоновальні схеми, будова та розміщення робочих органів.

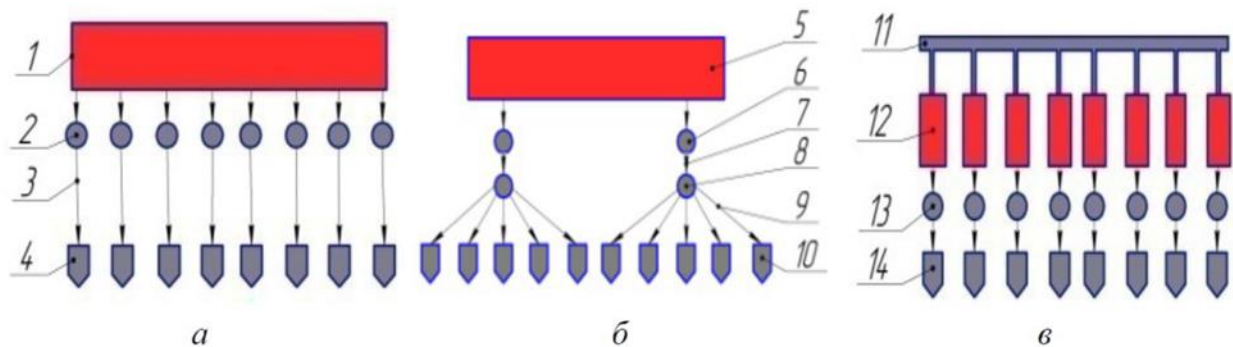


Рисунок 1.3 - Основні компоновальні схеми сівалок

Моноблочні сівалки (рис.1.3, а)

Моноблочні сівалки характеризуються тим, що кожен сошник оснащений індивідуальним висіваючим апаратом. Це дозволяє забезпечити точність висіву на кожному ряду, що є особливо важливим для культур, які потребують рівномірного розподілу насіння.

Переваги:

- Висока точність висіву: Завдяки індивідуальному висіваючому апарату для кожного сошника, забезпечується рівномірний розподіл насіння.
- Гнучкість налаштувань: Можливість регулювання параметрів висіву для кожного ряду окремо.

Недоліки:

- Висока вартість: Конструктивна складність та велика кількість висіваючих апаратів підвищують вартість таких сівалок.

- Складність в обслуговуванні: Велика кількість компонентів потребує більше часу та ресурсів для технічного обслуговування.

Роздільно-агрегатні сівалки (рис.1.3.,б)

Роздільно-агрегатні сівалки оснащені висіваючими апаратами групового висіву. Це означає, що один висіваючий апарат може обслуговувати декілька сошників одночасно.

Переваги:

- Економічність: Використання одного висіваючого апарату для декількох сошників знижує загальну вартість машини.
- Простота конструкції: Менша кількість висіваючих апаратів полегшує обслуговування та налаштування.

Недоліки:

- Менша точність: Розподіл насіння може бути менш рівномірним порівняно з моноблочними сівалками.
- Обмежена гнучкість налаштувань: Неможливість індивідуального налаштування для кожного сошника.

Секційні сівалки (рис.1.3,в)

Секційні сівалки мають конструкцію, в якій кожна секція включає апарат (висівний), бункер та сошник. Цей тип сівалок поєднує в собі переваги моноблочних та роздільно-агрегатних машин.

Переваги:

- Висока точність висіву: В складі секції сівалки є власний висівний апарат, що дозволяє досягти точності моноблочних сівалок.
- Гнучкість та модульність: Секції можуть бути легко замінені або налаштовані відповідно до потреб різних культур.

Недоліки:

- Вища вартість: Складна конструкція з окремими бункерами та висівними апаратами підвищує вартість сівалки.

- Складність в обслуговуванні: Наявність великої кількості секцій та компонентів може збільшити час і ресурси на технічне обслуговування.

Функціональні особливості машин для посіву насіння

Крім конструктивних особливостей, важливо розглянути функціональні аспекти сівалок, які впливають на їх ефективність та зручність у використанні.

1. Система дозування насіння

Сучасні сівалки оснащуються різними системами дозування, які забезпечують точне відмірювання насіння. Це може бути механічна, пневматична або електронна система, яка контролює кількість висіяного насіння на одиницю площі.

2. Регулювання глибини посіву

Важливим параметром є можливість точного регулювання глибини посіву, що забезпечує оптимальні умови для проростання насіння. Більшість сучасних сівалок мають механізми для точного налаштування глибини закладення насіння.

3. Система контролю за висівом

Багато сучасних сівалок обладнані системами контролю за висівом, які можуть включати датчики контролю кількості висіяного насіння, датчики блокування сошників та системи автоматичного коригування параметрів висіву.

4. Можливість внесення добрив та агрохімікатів

Деякі моделі сівалок мають можливість одночасного внесення добрив та агрохімікатів під час посіву, що підвищує ефективність використання техніки та зменшує кількість проходів по полю.

Отже, конструктивні та функціональні особливості машин для посіву насіння значною мірою впливають на ефективність сільськогосподарських операцій. Вибір тієї чи іншої моделі сівалки залежить від конкретних умов господарства, типу вирощуваних культур та економічних можливостей. Використання сучасних сівалок з високоточними системами управління дозволяє підвищити врожайність,

зменшити витрати на посівні операції та забезпечити стійкий розвиток аграрного сектору.

1.5 Електронні системи управління машин для посіву насіння

Машини для посіву насіння є одними з найважливіших інструментів у сучасному сільському господарстві, що визначають ефективність та якість виконання посівних робіт. З впровадженням новітніх технологій, посівні машини стали оснащуватися різними електронними системами управління, які значно підвищують їх продуктивність і точність. У цьому підрозділі розглянемо конструктивні та функціональні особливості таких машин, зокрема схеми оснащення електронними системами управління, оптоелектронний сенсор системи контролю висіву, та інфрачервоний сенсор рівня заповнення.

1.5.1 Схема оснащення посівних машин електронними системами управління

Сучасні посівні машини все частіше оснащуються комплексними електронними системами управління, які включають різноманітні датчики, контролери, та інтерфейси для збирання, обробки та відображення даних у реальному часі. Основні компоненти таких систем включають:

- Контролер посівної системи: Центральний пристрій, який обробляє сигнали від різних датчиків і керує висівом насіння.
- Датчики висіву: Вимірюють кількість висіяного насіння та передають дані на контролер.
- Система GPS: Використовується для точного визначення положення посівної машини на полі, що дозволяє оптимізувати маршрути та мінімізувати перекриття.
- Інтерфейс оператора: Дисплей або панель керування, де відображаються всі важливі параметри роботи машини та дозволяється налаштовувати режими роботи.

- Передача сигналу: Ця інформація передається на контролер, який обробляє дані та коригує роботу висівачуючого апарату для забезпечення рівномірного посіву.

Переваги:

- Висока точність: Забезпечує точне вимірювання кількості насіння.
- Надійність: Стійкий до зовнішніх факторів, таких як пил та волога.

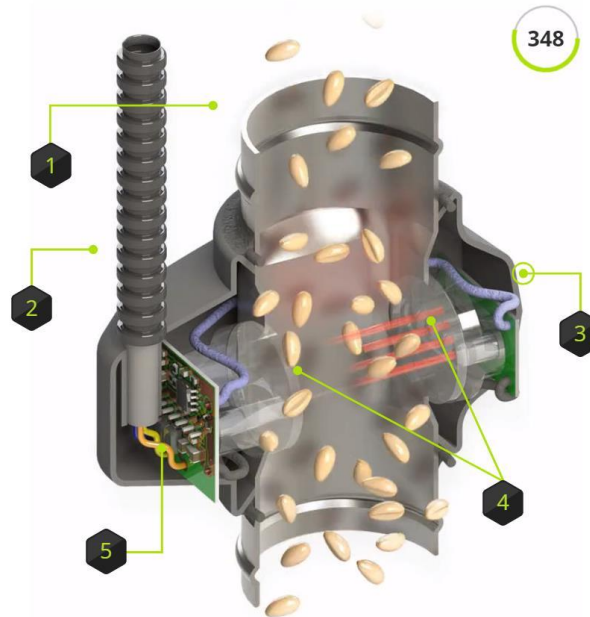


Рисунок 1.5 – Оптиелектронний сенсор системи контролю висіву

1.5.3 Інфрачервоний сенсор рівня заповнення

Інфрачервоний сенсор рівня заповнення використовується для моніторингу рівня насіння в бункері посівної машини. Цей сенсор забезпечує безперервний контроль за кількістю насіння і попереджає оператора про необхідність поповнення запасів.

Принцип роботи:

- Інфрачервоне випромінювання: Сенсор випромінює інфрачервоне світло, яке відбивається від поверхні насіння.
- Вимірювання відстані: Відстань до поверхні насіння визначається за часом повернення відбитого світла.

- Передача даних: Ця інформація передається на контролер, де обробляється та відображається на інтерфейсі оператора.

Переваги:

- Безперервний моніторинг: Забезпечує постійний контроль за рівнем насіння в бункері.
- Швидке реагування: Оперативно попереджає оператора про необхідність поповнення бункера, що запобігає простою техніки.



Рисунок 1.6– Інфрачервоний сенсор рівня заповнення

Використання сучасних електронних систем управління в посівних машинах значно підвищує ефективність та точність виконання посівних робіт. Схема оснащення посівних машин такими системами, як оптоелектронний сенсор контролю висіву та інфрачервоний сенсор рівня заповнення, дозволяє досягти високих результатів у сільськогосподарському виробництві. Впровадження таких технологій сприяє зменшенню витрат насіння, підвищенню врожайності та оптимізації використання ресурсів, що є важливими аспектами для сталого розвитку аграрного сектору.

Отже, правильний вибір способу посіву та дотримання технологічних вимог до процесу посіву є ключовими факторами для досягнення високих врожаїв та ефективного використання ресурсів. Сучасні технології посіву дозволяють оптимізувати процес вирощування сільськогосподарських культур, знизити витрати та підвищити рентабельність виробництва.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ПОЦЕСІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОННОГО УПРАВЛІННЯ ВИСІВУ

2.1 Аналіз вихідних даних

Сучасні технології точного землеробства дозволяють оптимізувати процес висіву насіння завдяки використанню електронних карт полів та автоматичній зміні норми для диференційованого дозування. Основними джерелами вихідних даних для таких систем є електронні карти полів та дані з глобальних навігаційних супутникових систем (GNSS).

Електронні карти полів та автоматична зміна норми для диференційованого дозування показана на рис. 2.1

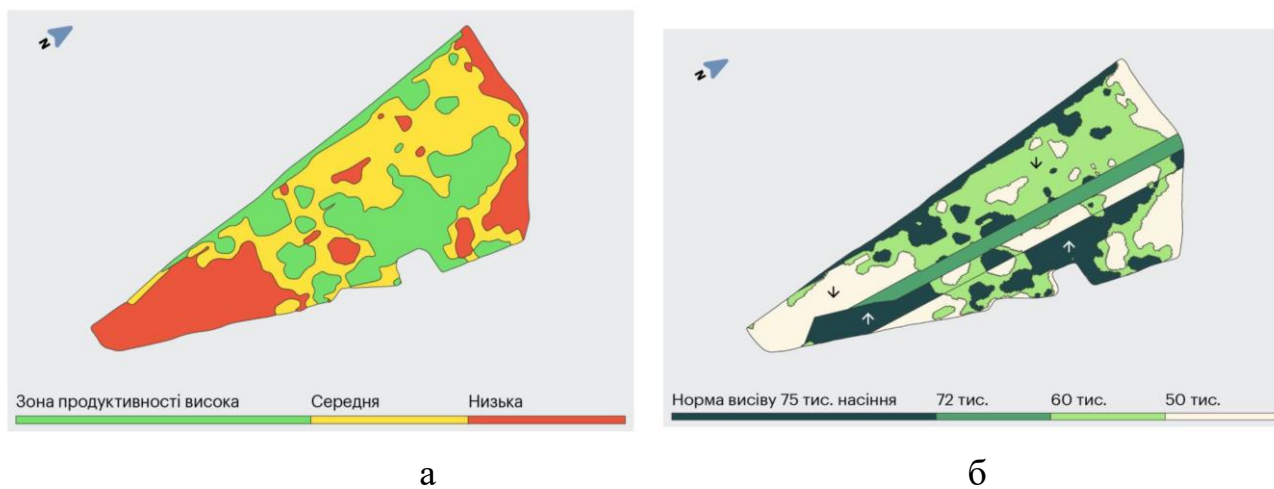


Рисунок 2.1 – Електронна карта поля: а – карта врожайності попереднього року; б - карта диференційованого висіву

Електронні карти полів є основою для реалізації точного землеробства. Вони містять детальну інформацію про агрономічні характеристики різних зон поля, такі як вміст поживних речовин, структуру ґрунту, попередні врожаї та інші важливі параметри. Використовуючи ці карти, система управління висівом може змінювати норму висіву насіння в режимі реального часу відповідно до специфічних потреб кожної зони поля.

Принципи роботи системи аналізу інформації-завдання з картографічного файлу.

Система управління висівом аналізує інформацію, отриману з картографічного файлу, і коригує роботу висівного апарата залежно від поточного місцезнаходження машини, визначеного за допомогою GNSS. Основні етапи цього процесу включають:

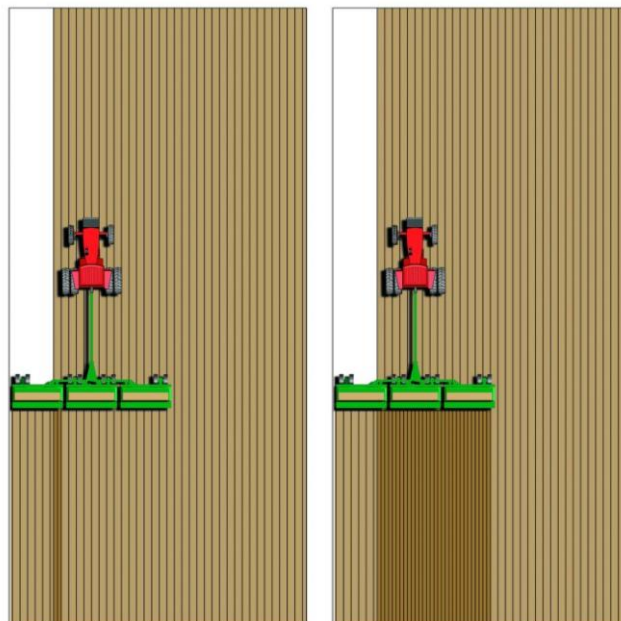
1. Завантаження картографічних даних: Дані з електронних карт полів завантажуються в систему управління висівом перед початком польових робіт.

2. Синхронізація з GNSS: Під час роботи система отримує дані про поточне місцезнаходження машини від GNSS.

3. Аналіз зони поля: Відповідно до поточного місцезнаходження, система визначає, в якій зоні поля знаходиться машина, і які агрономічні характеристики мають впливати на норму висіву.

4. Коригування норми висіву: На основі аналізу зональних даних система автоматично коригує норму висіву насіння для досягнення оптимальних результатів.

Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння див.рис.2.2



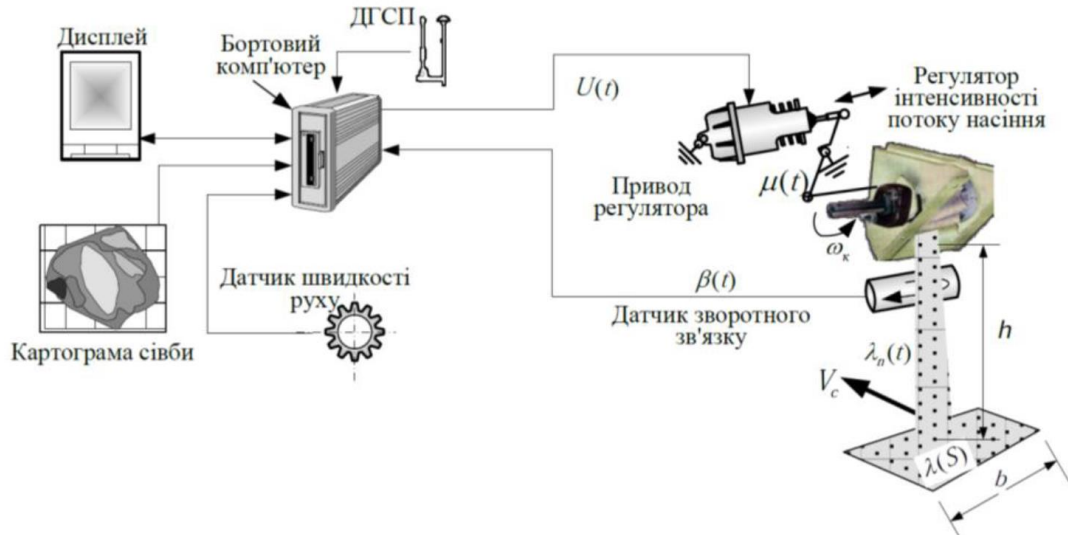


Рисунок 2.2 – Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння

Алгоритм реалізації диференційованого висіву насіння базується на інтеграції картографічних даних та GNSS-інформації для точного управління висівним апаратом. Основні кроки алгоритму включають:

1. Підготовка даних:

- Створення електронних карт полів: Агрохімічний аналіз ґрунту, зонування поля на основі вмісту поживних речовин та інших параметрів.
- Завантаження карт у систему: Перенесення підготовлених картографічних даних у систему управління висівом.

2. Початок посівних робіт:

- Ініціалізація системи: Синхронізація системи управління з GNSS для отримання точних координат машини.
- Налаштування параметрів: Введення початкових параметрів висіву (тип насіння, базова норма висіву тощо).

3. Процес висіву:

- Визначення зони поля: В режимі реального часу система визначає поточне місцезнаходження машини на полі.

- Аналіз зональних характеристик: На основі даних з електронної карти система аналізує агрономічні характеристики поточної зони.

- Коригування норми висіву: В залежності від зональних характеристик, система автоматично змінює норму висіву, щоб забезпечити оптимальний висів насіння.

4. Моніторинг та корекція:

- Постійний моніторинг: Система безперервно моніторить процес висіву, коригуючи норму у разі зміни умов або виявлення відхилень.

- Зворотний зв'язок: Оператор отримує інформацію про роботу системи та може втручатися у разі потреби.

Отже, використання електронних карт полів та системи диференційованого дозування дозволяє значно підвищити точність і ефективність процесу висіву насіння. Це не тільки забезпечує рівномірний висів, але й оптимізує використання насіння, зменшуючи витрати і підвищуючи врожайність. Алгоритми та технології, що використовуються для реалізації таких систем, є ключовими компонентами сучасного точного землеробства, спрямованого на максимальне використання агрономічних даних для прийняття оптимальних рішень у сільськогосподарському виробництві.

2.2 Дослідження точності висіву за даними сенсора інтенсивності потоку насіння

Точність висіву є ключовим показником ефективності посівних робіт, що безпосередньо впливає на врожайність та економічні показники сільськогосподарського виробництва. У цьому контексті використання сенсорів інтенсивності потоку насіння дозволяє значно підвищити точність та контроль над процесом висіву. Цей підрозділ присвячений дослідженню точності висіву за допомогою таких сенсорів.

Принцип роботи сенсора інтенсивності потоку насіння

Сенсори інтенсивності потоку насіння використовуються для моніторингу та контролю процесу висіву в режимі реального часу. Принцип їх роботи базується на виявленні та вимірюванні кількості насіння, що проходить через посівний апарат за одиницю часу. Основні компоненти сенсора включають:

- Датчик потоку: Реєструє проходження насіння через певну точку.
- Обчислювальний блок: Аналізує дані, отримані від датчика, та визначає інтенсивність потоку.
- Система управління: Коригує налаштування посівного апарата для підтримання оптимальної інтенсивності потоку.

Методологія дослідження точності висіву

Провели серію експериментів. Основними етапами методології були:

1. Вибір сільськогосподарської культури: Обрано кукурудзу як об'єкт дослідження через її високу популярність та вимогливість до точності висіву.
2. Налаштування посівного апарата: Використовувалися стандартні налаштування для посіву кукурудзи з використанням сенсора
3. Проведення посіву: Висів здійснювався на експериментальних ділянках з різними умовами (тип ґрунту, вологість, рельєф).
4. Збір даних: Вимірювали інтенсивність потоку насіння, відстань між насінням у рядку, глибину висіву та інші параметри.
5. Аналіз даних: Порівнювали отримані дані з еталонними значеннями для оцінки точності висіву.

Результати дослідження

Результати дослідження показали, що використання сенсора інтенсивності потоку насіння значно підвищує точність висіву. Основні висновки:

- Відхилення у відстані між насінням: У середньому, відхилення у відстані між насінням в рядку становило не більше 2 см, що відповідає оптимальним агротехнічним вимогам.
- Контроль інтенсивності потоку: Сенсор забезпечував стабільну інтенсивність потоку насіння, що мінімізувало ризики пропусків та перенаселення.
- Економія ресурсів: Завдяки точному контролю висіву, було досягнуто економії насіння до 5% у порівнянні з традиційними методами.

Обговорення результатів

Використання сенсорів інтенсивності потоку насіння виявило низку переваг:

- Підвищена точність: Забезпечення стабільної відстані між насінням дозволяє рівномірно розподілити рослини, що сприяє кращому розвитку та підвищенню врожайності.
- Зменшення витрат: Економія насіння та зменшення витрат на повторний посів та проріджування рослин.
- Покращення контролю: Можливість виявлення та корекції відхилень у режимі реального часу знижує ризики помилок під час висіву.

Проте, було виявлено й деякі обмеження та проблеми, які потребують подальшого дослідження:

- Чутливість до зовнішніх факторів: Робота сенсора може бути впливана змінами погодних умов, забрудненням або пошкодженням обладнання.
- Вартість впровадження: Високі початкові витрати на обладнання можуть бути бар'єром для малих господарств.

Основні фактори порушення технологічної ефективності посівних машин

Технологічна ефективність посівних машин залежить від кількох факторів, що можуть впливати на точність висіву насіння. До основних факторів, що порушують ефективність, належать:

1. Неправильне калібрування висівних апаратів.
2. Нестабільність подачі насіння через зміну швидкості руху сівалки.
3. Вплив зовнішніх умов, таких як вологість і температура, на механізми висіву.
4. Знос та технічні несправності компонентів системи.

Основний критерій оцінки ефективності сівалок точного висіву

Основним критерієм оцінки ефективності сівалок точного висіву є нульова різниця між встановленою та фактичною нормою висіву. Це означає, що кількість висіяного насіння повинна максимально відповідати запланованій нормі. Будь-яке відхилення від цієї норми зменшує ефективність технологічної операції та може призвести до зниження врожайності.

Щільність розподілу насіння

Крім дотримання заданої норми висіву, важливо забезпечити рівномірну щільність розподілу насіння. Для просапних культур це є критичним фактором, оскільки нерівномірний розподіл може призвести до нерівномірного розвитку рослин, збільшення конкуренції за ресурси та, відповідно, зниження врожайності.

Щільність знаходиться за допомогою рівняння

$$\lambda(s) = \frac{\lambda_n(t)}{bV_c}, \quad (2.1)$$

де $\lambda_n(t)$ - інтенсивність висіву насіння апаратом;

b - відстань між рядками;

V_c - швидкість руху МТА по полю.

Інтенсивність потоку (фактична)

$$I = \int [(\lambda(t) - \lambda_n(t))^2] dt, \quad (2.2)$$

Постійна похибка визначення власного місцезнаходження МТА за даними глобальної навігаційної системи

Сучасні сівалки часто використовують глобальні навігаційні системи (GNSS) для визначення свого положення на полі. Однак постійна похибка визначення місцезнаходження може впливати на точність керування висівом. Ця похибка виникає через різні фактори, включаючи атмосферні умови, якість сигналу, та інші перешкоди.

$$\lambda(t) = K_{va} \mu(t), \quad (2.3)$$

де μ - задана продуктивність висіваючого апарату;

$K_{va} = \overline{K_{va}}(1 + \Delta\overline{K_{va}} + \xi_{va})$ - коефіцієнт, що враховує неточність дозування

під час використання механічних систем і передач;

$\overline{K_{va}}$ - сумарна величина коефіцієнта неточності передачі;

$\Delta\overline{K_{va}}$ системна дія коефіцієнта неточності передачі;

ξ_{va} - можливість появи випадкових відхилень.

Вираз зміни інтенсивності потоку

$$T_p^2 \mu''(t) + D_p \mu'(t) + \mu(t) = K_p U(t), \quad (2.4)$$

де K_p, D_p та T_p^2 - технологічні параметри системи приводу дозатора;

$U(t)$ - зміна керуючого сигналу.

Параметри керуючого сигналу за широкого діапазону різноманітних факторів впливу та перехідних процесів в системі управління.

$$T_d \beta'(t) + \beta(t) = K_d \lambda(t), \quad (2.5)$$

де T_d - затримка сигналу сенсора по часу;

$K_d = \overline{K_d}(1 + \Delta\overline{K_d} + \xi_d)$ - коефіцієнт передачі сигналу сенсора;

Для забезпечення точності висіву важливо, щоб параметри керуючого сигналу залишалися стабільними та точними, незважаючи на різноманітні фактори впливу. Ці фактори включають:

1. Швидкість руху сівалки.
2. Зміни в характеристиках ґрунту.

3. Варіації у фізичних властивостях насіння.

4. Коливання електроживлення системи управління.

Перехідні процеси в системі управління також можуть викликати тимчасові відхилення в точності висіву. Наприклад, зміни швидкості або напрямку руху можуть викликати затримку у відповідь системи, що призведе до тимчасових помилок у висіві.

Формула визначення загальної характеристики сенсора

$$W_k = \frac{K_k}{T_k^2 p^2 + D_k p + 1}, \quad (2.5)$$

де K_k, D_k та T_k - програмні та технічні характеристики сенсора висіву.

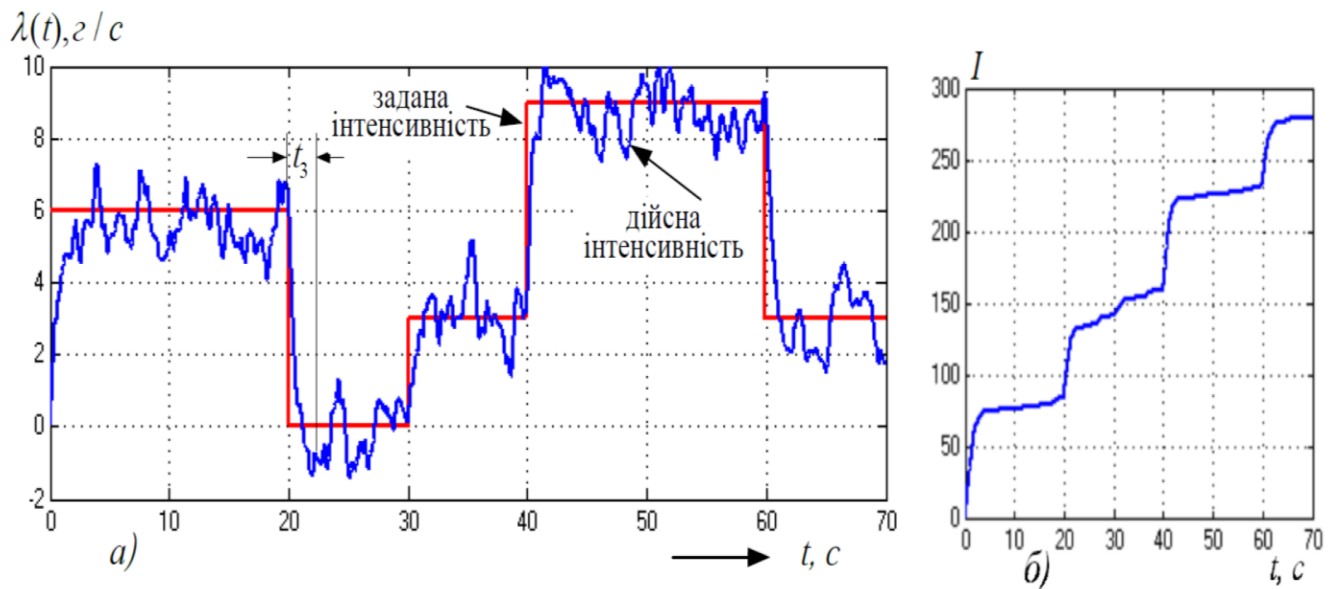


Рисунок 2.3 – Визначення різниці між заданою та фактичною нормою висіву (за сенсором висіву)

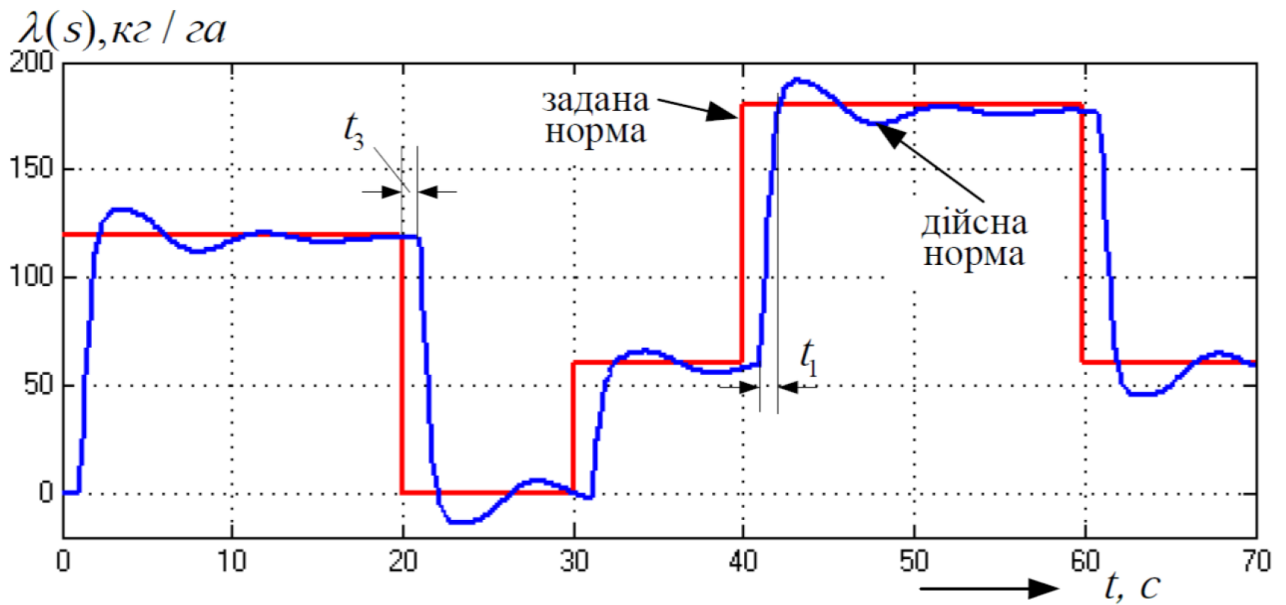


Рисунок 2.4 – Визначення різниці між заданою та фактичною апроксимована нормою висіву (за даними польового комп'ютера)

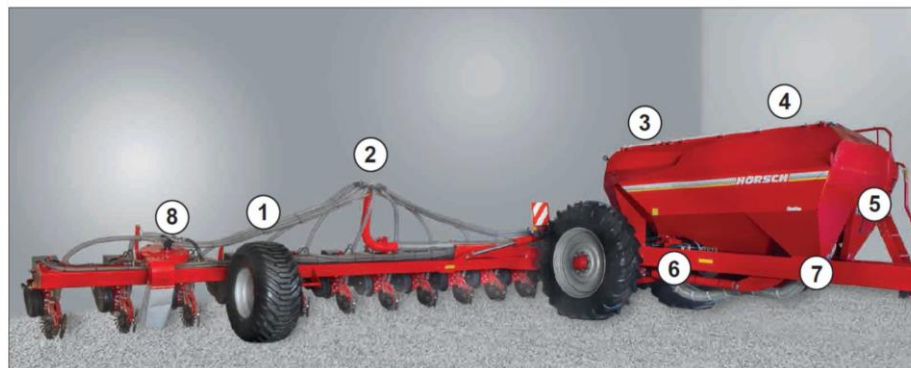
Отже, для досягнення максимальної ефективності та точності висіву насіння необхідно враховувати та мінімізувати вплив вищезазначених факторів. Це включає регулярне калібрування обладнання, використання надійних систем контролю та управління, а також впровадження сучасних технологій, таких як GNSS та сенсори інтенсивності потоку насіння. Забезпечення нульової різниці між встановленою та фактичною нормою висіву, рівномірного розподілу насіння, а також точного місцезнаходження сівалки на полі є ключовими для підвищення врожайності та ефективності сільськогосподарського виробництва.

3 МЕТОДИКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕННЯ ЕКПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

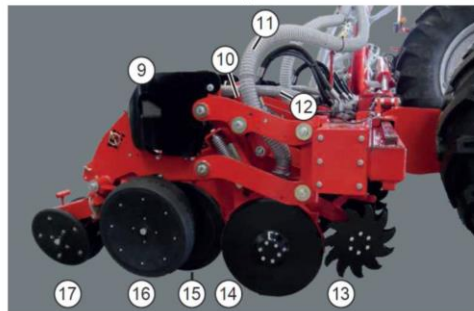
3.1 Вихідні дані та умови проведення досліджень

Для досягнення високих результатів у вирощуванні просапних культур важливою є точність і ефективність висіву. У цьому розділі розглянемо вихідні дані та умови проведення досліджень з використанням посівних машин HORSCH Maestro, які призначені для висіву просапних культур і показали високу ефективність при вирощуванні таких культур, як соняшник, кукурудза, соя, цукрові буряки, горох та інші.

Опис посівної машини HORSCH Maestro



а



б

Рисунок 3.1 – Посівна машина HORSCH Maestro (а – загальний вигляд; б – висівна секція): 1 - опорне колесо; 2 - розподільник добрив; 3 – бункер насіння; 4 – бункер для добрив; 5 – трап; 6 – нагнітач повітря; 7 - нагнітач повітря для добрив; 8 – вакуумний нагнітач; 9 - дозатор одиночного висіву; 10 – гідравлічний довантажувач сошників; 11 – туковисівні проводи; 12 – насіннепроводи; 13 – зірочки очисника; 14 - дисковий сошник для внесення добрив; 15 - дисковий сошник для внесення насіння; 16 – колеса стабілізації глибини; 17 - котки

Посівні машини HORSCH Maestro відомі своєю високою точністю і надійністю. Вони оснащені сучасними системами контролю висіву, що забезпечують рівномірний розподіл насіння по рядках. Основні характеристики машин HORSCH Maestro включають:

- Точність висіву: Забезпечується за рахунок використання електронних систем контролю.
- Висока продуктивність: Машини здатні працювати на високих швидкостях, що збільшує площу обробітку за одиницю часу.
- Універсальність: Підходять для висіву різних видів культур, таких як соняшник, кукурудза, соя, цукрові буряки, горох тощо.
- Інноваційні технології: Використання GPS-навігації та системи паралельного водіння для мінімізації площі перекриття і економії ресурсів.

Мета та завдання досліджень

Метою проведених досліджень було оцінити ефективність та точність висіву з використанням посівних машин HORSCH Maestro для різних видів просапних культур. Завдання досліджень включали:

- Аналіз рівномірності розподілу насіння: Вимірювання відстані між насінням у рядках.
- Оцінка продуктивності: Визначення площі обробітку за одиницю часу.
- Визначення економічної ефективності: Порівняння витрат насіння та добрив при використанні машин HORSCH Maestro з традиційними методами.

Умови проведення досліджень

Дослідження проводилися на експериментальних ділянках, які були розділені на кілька секторів для вирощування різних культур. Умови проведення досліджень включали:

- Географічне розташування: Поля розташовані в різних агрокліматичних зонах для оцінки ефективності машин в різних умовах.

- Тип ґрунту: Дослідження проводилися на різних типах ґрунтів, включаючи чорнозем, суглинок і піщані ґрунти.
- Кліматичні умови: Враховувалися різні погодні умови, включаючи вологість, температуру та опади.
- Попередні культури: Поля, де проводилися дослідження, мали різні попередні культури для оцінки впливу сівозміни на результати висіву.

Методика проведення досліджень

1. Підготовка полів: Проведено передпосівну підготовку ґрунту відповідно до агротехнічних вимог для кожної культури.
2. Налаштування посівних машин: Машини HORSCH Maestro налаштовані відповідно до рекомендацій виробника для кожного виду культури.
3. Висів насіння: Висів здійснювався на різних швидкостях для оцінки впливу швидкості на точність висіву.
4. Збір даних: Вимірювання відстані між насінням, глибини висіву та інших параметрів висіву проводилося за допомогою спеціального обладнання.
5. Аналіз результатів: Отримані дані аналізувалися для визначення рівномірності розподілу насіння, продуктивності та економічної ефективності висіву.

Параметри та критерії оцінки

Для оцінки ефективності висіву використовувалися такі параметри:

- Відстань між насінням у рядку: Вимірювалася за допомогою лінійки та спеціальних датчиків.
- Глибина висіву: Визначалася за допомогою ґрунтових зондів.
- Швидкість висіву: Фіксувалася за допомогою бортового комп'ютера посівної машини.
- Площа перекриття: Визначалася за допомогою GPS-навігації.

- Економічна ефективність: Розраховувалася на основі витрат насіння, добрив та витрат палива.

Дослідження показали, що посівні машини HORSCH Maestro забезпечують високу точність та продуктивність висіву різних просапних культур. Використання сучасних технологій дозволяє зменшити площу перекриття та оптимізувати витрати матеріальних ресурсів. Це сприяє підвищенню врожайності та економічної ефективності сільськогосподарського виробництва. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію налаштувань посівних машин для різних умов експлуатації.

3.2 Методика та обладнання для дослідження електронної системи управління сівалкою

Для оцінки ефективності електронної системи управління сівалкою необхідно провести детальні дослідження, які включають налаштування та випробування різних параметрів роботи сівалки. У цьому підрозділі описуються методика проведення досліджень та обладнання, що використовується для оцінки електронної системи управління сівалкою HORSCH Maestro.

Метою дослідження є оцінка точності та надійності електронної системи управління сівалкою, а також визначення її впливу на ефективність посівних робіт. Завдання дослідження включають:

- Аналіз точності розподілу насіння в рядках.
- Оцінка стабільності роботи системи при різних робочих швидкостях.
- Визначення економічної ефективності використання електронної системи управління.

Опис обладнання

Для проведення досліджень використовується наступне обладнання:

1. Сівалка HORSCH Maestro: Оснащена електронною системою управління, яка контролює процес висіву насіння.

2. GPS-навігаційна система: Забезпечує точне визначення координат сівалки та моніторинг її руху по полю.
3. Система контролю висіву: Включає датчики, які фіксують кількість насіння, що висівається, та відстань між насінням у рядку.
4. Бортовий комп'ютер: Здійснює обробку даних від датчиків і управляє роботою сівалки в режимі реального часу.
5. Лабораторне обладнання: Включає вимірювальні прилади для оцінки точності висіву та аналізу розподілу насіння.

Підготовка до досліджень

1. Вибір ділянки для досліджень: Поле розділяється на кілька секторів для проведення випробувань у різних умовах.
2. Налаштування сівалки: Сівалка HORSCH Maestro налаштовується відповідно до технічних вимог та рекомендацій виробника.
3. Калібрування системи: Проводиться калібрування датчиків і бортового комп'ютера для забезпечення точності вимірювань.

Проведення висіву

1. Розподіл насіння: Висів насіння здійснюється на різних робочих швидкостях для оцінки стабільності роботи системи.
2. Вимірювання параметрів висіву: Збір даних про відстань між насінням у рядку, глибину висіву та швидкість руху сівалки.
3. Моніторинг роботи системи: Контроль роботи електронної системи управління за допомогою GPS-навігації та бортового комп'ютера.

3.3 Результати дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою

Досліджували параметри сигналів (керуючих) за допомогою портативного ПК, осцилографа Nantek 1008B, а також використали цифровий мультиметр.

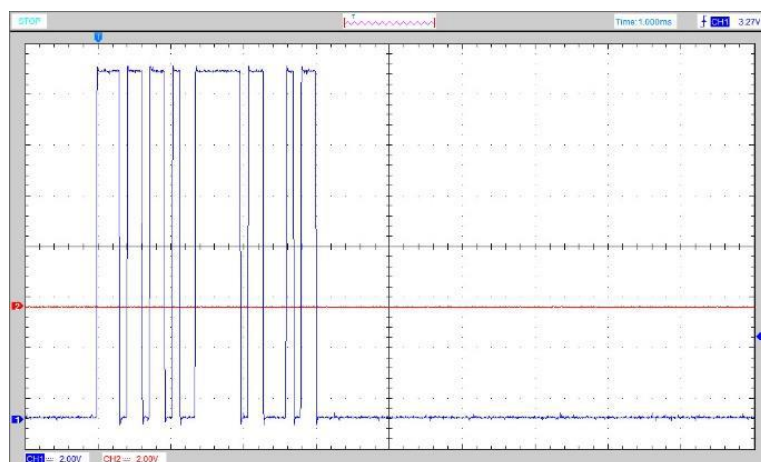


Рисунок 3.2– Генерування керуючого сигналу сенсора контролю висіву (ідентифікації пристрою в системі без подачі насіння)

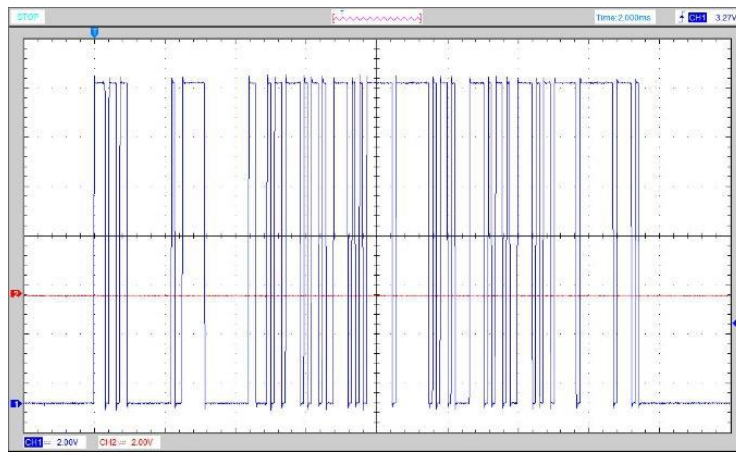
Умовами дослідження було наступне:

- а) При відсутньому висіву насіння
- б) При висіву зернин згідно норм
- в) При висіву згідно норм, але при наявному додатковому опорі електр.колі – 4 кОм.

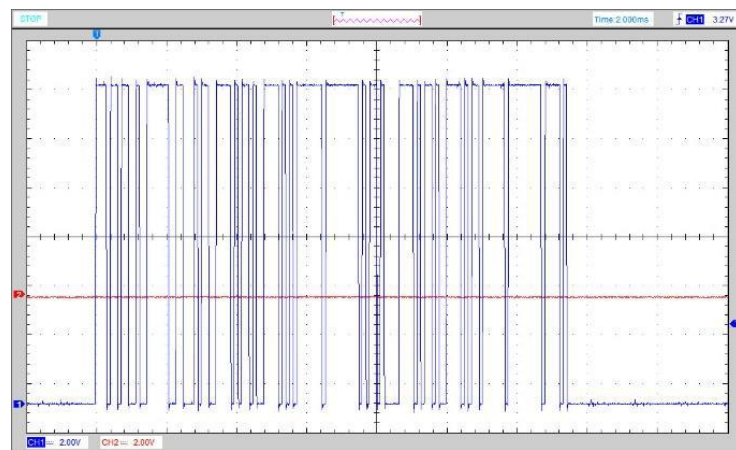
Якщо застосовується умова а), то характеристики осцилограми мають ідентичність умові б), це показано на рис.3.3,а.

На рис.3.3, б видно, що характеристика сигналу (керуючого) практично не змінюється, коли насіння пролітає поміж чутливих елементів сенсора висіву(оптичного).

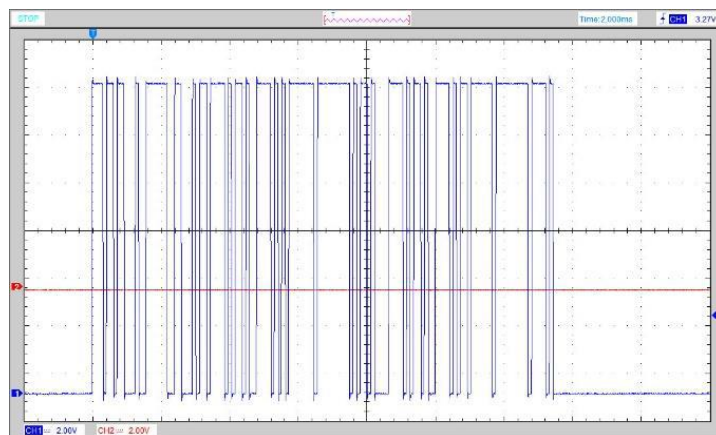
Але при появі додаткового опору в колі, характеристика осцилограми має інший вигляд (форму), див. рис.3.3, в. При вимірювання сигналу (керуючого) при такій умові спостерігаємо генерацію додаткового шуму на осцилограмі, через що сигнал, який слідкує на насінням, надсилатиме через ці шуми значення з похибкою.



а



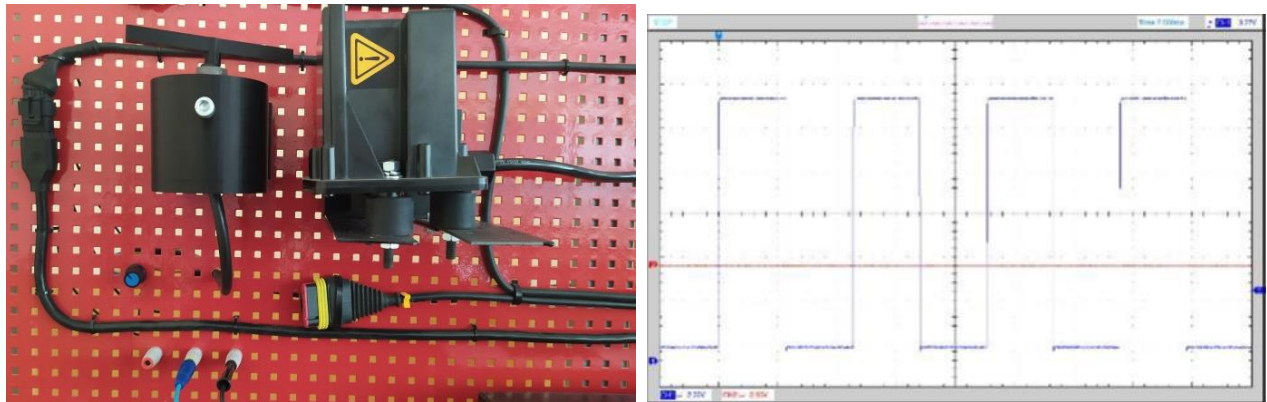
б



в

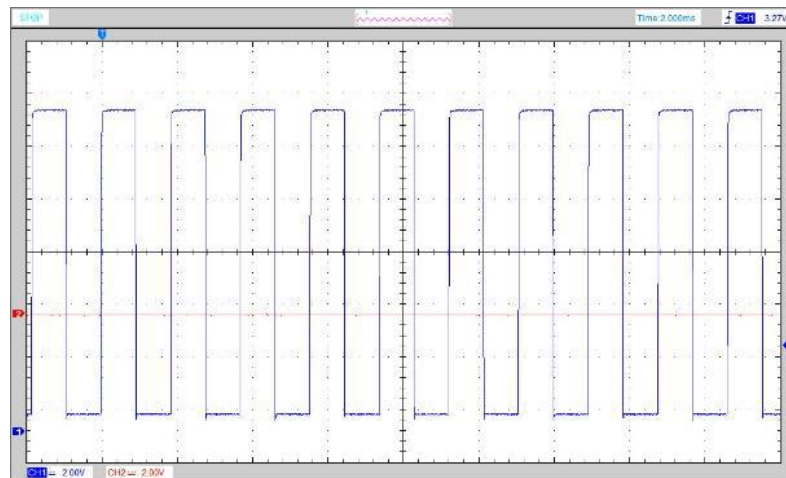
Рисунок 3.3 – Характеристика керуючого сигналу сенсора контролю висіву: а - висів насіння відсутній; б - висів насіння відповідно до заданої норми; в - висів насіння відбувається відповідно до заданої норми за наявності додаткового опору електричному колі 4 кОм

Характеристика сигналу (інформаційного), який отримали при дослідженні сенсору швидкості руху сівалки див. рис. 3.5



а

б



в

Рисунок 3.5 – Характеристика керуючого сигналу сенсора швидкості руху: а – схема вимірювання; б – характеристика керуючого сигналу (швидкість 3 км/год); в - – характеристика керуючого сигналу (швидкість 10 км/год)

При збільшенні швидкості сівалки спостерігаємо (див.рис.3.5) і зміну частоти сигналу (інформаційного) прямопропорційно. Заповнення сівалки було на половину, тобто 50 %.

Результати дослідження

Точність подачі насіння

Дослідження показали, що система управління сівалкою HORSCH Maestro забезпечує високу точність подачі насіння. Відхилення від заданої норми висіву не перевищували 2%, що свідчить про стабільну роботу електронної системи управління.

Стабільність роботи системи

Аналіз даних про керуючі сигнали показав, що система стабільно підтримує задані параметри висіву навіть при зміні швидкості руху сівалки. Графіки тиску в гідросистемі та швидкості обертання висівних апаратів (рисунок 3.2) демонструють незначні коливання, які не впливають на якість посіву.

Вплив швидкості руху на якість висіву

Було виявлено, що при збільшенні швидкості руху сівалки до 10 км/год якість висіву залишається на високому рівні. Однак, при подальшому збільшенні швидкості починають спостерігатися незначні відхилення у рівномірності розподілу насіння. Це може бути пов'язано з обмеженнями механічних компонентів сівалки, а не з роботою електронної системи управління.

Порівняння з традиційними методами

Результати дослідження також були порівняні з традиційними методами висіву, які не використовують електронні системи управління. Виявилось, що використання HORSCH Maestro дозволяє значно зменшити відхилення у подачі насіння та забезпечує більш рівномірний розподіл насіння у рядку. Таблиця 3.1 містить порівняльні дані точності висіву для різних методів.

3.4 Результати дослідження похибки дозування за несправності компонентів електронної системи управління сівалкою

Застосування систем контролю висіву для вирощування просапних с.г. культур, особливо комплексами посівними з великою продуктивністю, підвищують

ефективність роботи сівалки. Ці системи реєструють та інформують про наявність різних відхилень та похибок в роботі технологічного процесу.

На процес висів впливають такі фактори:

- при наявності домішок та забруднень матеріалу для посіву;
- при несправності компонентів системи управління (електронної) сівалкою;
- при не вірному підборі елементів апарату висівного;
- при неправильному програмному налаштуванні та неправильному виборі режиму роботи.

Від цих чинників залежить якість роботи висівного апарату, тому необхідно належним чином слідкувати за рівномірністю та кількістю матеріалу, що подається.

На рис.3.6 зображено налаштування дозатора насіння кукурудзи. Стендові випробування проводили для оцінки якісної та ефективної роботи системи контролю сівалки. Для цього було зроблено наступне:

- встановлення швидкості руху сівалки- 2 м/с;
- відповідно типу, маси 1000 насінин, їх розміру, форми, підібрали тип диска дозуючого;
- відповідно матеріалу для посіву, підібрали диск (дозувальний);
- посівний матеріал – кукурудза;
- критерій вибору – маса тисячі насінин;
- дозуючий диск арт. № 24018931;
- впускна заслінка № 3;
- розрідження 65-85 мбар;
- ковзна перемичка «А»;
- внутрішній скребок «А»;
- кількість насічок зовнішнього скребка – 1.



Рисунок 3.6 – Налаштування дозатора насіння сівалки HORSCH Maestro
для висіву кукурудзи

Результати внесли до табл.3.1

Таблиця 3.1 – Результати досліджень ефективності висіву за різного технічного стану електронної системи управління (задані та фактичні параметри висіву насіння)

Показник	Середні значення показників				
	Відповідно до ТУ (для систем контролю для посівних машин)	Задано програмними налаштуваннями сівача	Отримані за показами системи контролю висіву	Отримані за показами системи контролю висіву з імітацією на додаткового навантаження електронної системи управління	Фактично отримані
Культура	Кукурудза				
Ширина міжряддя, см	37-90	70			
Рослин на 1 м ²	6 - 12	9			
Насінин на 1 м.п.	7,2 – 18,9	7,4	7,3	7,1	7,3
Насінин тис./га	50 - 127	73,5	72,6	70,5	72,6
Швидкість посіву, км/год	1-20	9	9	8,7	-
Похибка вимірювання системи контролю висіву, %	0,1	± 25 (встановлено системою для аварійного повідомлення)	1,8	4,5	1,8
Відстань між насінинами, см	10 - 22	13,5	13,7	14,1	13,7
Відхилення рівномірності висіву, %	± 16	± 25 (встановлено системою для аварійного повідомлення)	6,2	12,4	9,6

Випробування сівалки проводилось за наступних умов: схожість насіння 95%, лабораторна чистота 98,9 %, рослин на 1 м² - 9 шт., насінин на 1 м.п.- 7,4. Згідно отриманих даних, параметри висіву можуть різнитись залежно від технічного стану компонентів електронної системи управління, наприклад за додаткового навантаження опором, рівномірність висіву може знизитись до 12,4%, а корекція висіву може змінюватись в межах $\pm 4,5$ %.

Отже, дослідження керуючих сигналів електронної системи управління сівалкою HORSCH Maestro показало, що система забезпечує високу точність та стабільність висіву. Використання сучасних датчиків і системи збору даних дозволило детально проаналізувати роботу всіх компонентів сівалки та визначити оптимальні параметри для різних умов експлуатації. Результати підтверджують ефективність електронної системи управління та її переваги у порівнянні з традиційними методами висіву.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Загальні положення

Охорона праці є важливим аспектом будь-якої сільськогосподарської діяльності, зокрема, при використанні сучасних технологій і техніки, таких як сівалки точного висіву HORSCH MAESTRO. Забезпечення безпеки працівників, зменшення виробничих ризиків та мінімізація негативного впливу на здоров'я і навколишнє середовище є пріоритетними завданнями в організації сільськогосподарських робіт.

4.2 Вимоги до безпеки при експлуатації сівалок точного висіву

Сівалки точного висіву HORSCH MAESTRO оснащені складними електронними системами керування, що вимагає дотримання особливих заходів безпеки при їх використанні.

Основними вимогами до безпеки є:

1. Попередня підготовка та навчання персоналу. Оператори сівалок повинні пройти відповідне навчання щодо експлуатації обладнання, включаючи безпечне використання електронних систем керування.
2. Забезпечення належного технічного стану обладнання. Перед початком роботи необхідно перевірити технічний стан сівалки, зокрема цілісність електричних кіл, справність сенсорів та інших компонентів системи.
3. Використання засобів індивідуального захисту. Працівники повинні бути забезпечені відповідними засобами індивідуального захисту, такими як захисні окуляри, рукавиці, спеціальний одяг та взуття.
4. Дотримання правил електробезпеки. Оскільки сівалки оснащені електронними системами, важливо дотримуватися правил роботи з електрообладнанням, щоб уникнути ураження електричним струмом.

4.3 Особливості безпеки при обслуговуванні електронних систем

Електронні системи керування сівалками, включаючи сенсори інтенсивності потоку насіння та інфрачервоні сенсори рівня заповнення, вимагають особливої уваги при обслуговуванні.

Основні заходи безпеки при обслуговуванні електронних систем включають:

1. Відключення живлення. Перед проведенням будь-яких ремонтних або профілактичних робіт необхідно повністю відключити живлення системи, щоб уникнути випадкових уражень електричним струмом.

2. Перевірка цілісності електричних кіл. Регулярне обстеження та перевірка цілісності електричних кіл за допомогою цифрових мультиметрів дозволяє своєчасно виявляти та усувати можливі несправності.

3. Захист від пилу та вологи. Електронні компоненти повинні бути захищені від впливу пилу та вологи, що може викликати корозію та збої в роботі системи.

4.4 Організаційні заходи для забезпечення безпеки праці

Для забезпечення безпеки праці при використанні сівалок точного висіву HORSCH MAESTRO необхідно впровадити комплекс організаційних заходів, включаючи:

1. Розробка та впровадження інструкцій з охорони праці. Інструкції повинні містити детальний опис безпечних методів роботи, правила поведінки в аварійних ситуаціях та вимоги до використання засобів індивідуального захисту.

2. Проведення регулярних інструктажів. Регулярні інструктажі з охорони праці для всього персоналу, зайнятого на сільськогосподарських роботах, сприятимуть підвищенню рівня безпеки та обізнаності працівників.

3. Моніторинг дотримання вимог охорони праці. Постійний моніторинг та контроль за дотриманням вимог охорони праці дозволяє вчасно виявляти та усувати порушення, знижуючи ризики виникнення нещасних випадків.

4.5 Екологічні аспекти охорони праці

Використання сівалок точного висіву HORSCH MAESTRO сприяє не лише підвищенню продуктивності праці, але й зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище. До екологічних аспектів охорони праці належать:

1. Оптимізація використання ресурсів. Точний висів насіння дозволяє зменшити витрати на насіння та добрива, що сприяє раціональному використанню природних ресурсів.

2. Зменшення хімічного навантаження. Завдяки точному дозуванню добрив та засобів захисту рослин знижується хімічне навантаження на ґрунт та водні ресурси, що сприяє збереженню екосистем.

3. Підтримка біорізноманіття. Раціональне використання агрохімікатів сприяє збереженню біорізноманіття та здоров'я агроекосистем.

Отже, забезпечення охорони праці при використанні сівалок точного висіву HORSCH MAESTRO є невід'ємною складовою успішного впровадження сучасних агротехнології. Комплекс заходів, спрямованих на підвищення безпеки працівників, ефективне використання техніки та зменшення негативного впливу на навколишнє середовище, сприятиме підвищенню продуктивності та стійкості сільськогосподарського виробництва.

5 ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ

5.1 Розрахунок економічного ефекту від використання пропонованої методики діагностики

Впровадження нових технологій і обладнання пов'язане з деякими капіталовкладеннями на їх розробку, які окуповуються в процесі використання за рахунок покращення техніко-економічних показників їх роботи.

Економічну ефективність використання удосконаленого дозатора визначали за рахунок порівняння затрат на виконання процесу висіву насіння кукурудзи сівалкою HORSCH Maestro за допомогою удосконаленої методики діагностики [28].

Визначення техніко-економічних показників роботи проводилось за стандартизованою методикою визначення економічної ефективності використання техніки. Для розрахунку економічної ефективності роботи сівалки HORSCH Maestro з використанням удосконаленої методики діагностики.

Розрахунок техніко-економічних показників роботи сівалки здійснювався за методикою розрахунку питомої економічної ефективності приведеної на один кілограм використаної продукції.

Річний економічний ефект від застосування удосконаленої методики визначається з виразу:

$$E = ((Z_{\text{в}}^{\text{б}} - Z_{\text{в}}^{\text{н}}) + (\Gamma_{\text{н.б.т.}} - \Gamma_{\text{н.н.т.}})) \times P_i \quad (5.1)$$

де $Z_{\text{в}}^{\text{б}}$? $Z_{\text{в}}^{\text{н}}$ – відповідно зведені затрати використання базової технології та удосконаленої технології; $\Gamma_{\text{н.б.т.}}$ – грошові надходження від реалізації продукції відповідно до базової технології, грн; $\Gamma_{\text{н.н.т.}}$ – надходження від реалізації, з використанням удосконаленої технології, грн; P_i – річне напрацювання технологічного обладнання, кг.

При цьому прямі експлуатаційні затрати Π_3 розраховують за формулою [56]:

$$\Pi_3 = Z_{\text{зпл}} + Z_{\text{ел.ен}} + Z_{\text{рем}} + Z_{\text{ТО рем}} \quad (5.2)$$

де $Z_{ел.ен}$ – затрати на енергоресурси, грн/кг; $Z_{пл}$ – затрати на оплату праці робітників, грн/кг; $Z_{рен}$ – відрахування на реновацію обладнання, грн/кг; $Z_{ТО рем}$ – відрахування на технічне обслуговування і ремонт, грн/кг.

Затрати на оплату праці робітників становлять:

$$Z_{пл} = \frac{n \cdot \tau_{год} \cdot k_{допл}}{W_{год}}, \text{ грн/кг}, \quad (5.3)$$

де $\tau_{год}$ – годинна тарифна ставка працівників, грн/год; n – кількість працівників, чол; $k_{допл}$ – коефіцієнт, що враховує додаткові доплати і нарахування; $W_{год}$ – продуктивність обладнання за годину часу протягом зміни, кг/год.

Затрати на електроенергію:

$$Z_{ел.ен} = \frac{N_{ел.} \cdot C_{ел.}}{W_{год}}, \text{ грн/кВт} \cdot \text{год}, \quad (5.4)$$

де $N_{ел.}$ – потужність, яка споживається технологічним обладнанням, кВт; $C_{ел.}$ – ціна 1 кВт електроенергії, грн.

Відрахування на реновацію обладнання:

$$Z_{рен} = \frac{B_m \cdot k_p}{W_{год} \cdot T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (5.5)$$

де k_p – коефіцієнт, що враховує річне відрахування на реновацію техніки, %; B_m – балансова вартість обладнання, грн; T_p – річне завантаження обладнання, год.

Відрахування на $T.O.$ і ремонт становлять:

$$Z_{ТО рем} = \frac{B_m \cdot (k_{п.р} + k_{к.р})}{W_{год} \cdot T_p}, \text{ грн/кг}, \quad (5.6)$$

де $k_{п.р}$ – коефіцієнт відрахувань на ремонт і $T.O.$, (в даному випадку коефіцієнт відрахування становить 0,13); $k_{к.р}$ – коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт, ($k_{к.р}$ прийнято 0,0275).

Загальні капіталовкладення необхідні для впровадження удосконаленої технології діагностики $K_{кап.вкл}$ (грн/кг) визначають:

$$K_{\text{кап.вкл}} = \frac{B_M}{W_{\text{год}} \cdot T_p} \quad (5.7)$$

Загальні зведені затрати на одиницю продукції Z_3 (грн/кг):

$$Z_3 = \Pi_3 + K_{\text{кап.вкл}} \cdot k_{\text{еф.кап.вкл}}, \quad (5.8)$$

де – коефіцієнт, що враховує ефективність капіталовкладень.

Зменшення прямих експлуатаційних витрат протягом року $E_{\text{екс.витр}}$ розраховують за формулою:

$$E_{\text{екс.витр}} = (Z_3^{\text{б}} - Z_3^{\text{н}}) \cdot T_p, \text{ грн}, \quad (5.9)$$

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності від використання запропонованої технології діагностики ґрунтується на інформації заводів-виготовлювачів; вартість електроенергії, годинні тарифні ставки робітників визначались на основі статистичних даних станом на 12.10.2023 року.

Таблиця 5.1 - Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності

Показники	Машина	
	HORSCH Maestro 24	HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики
Продуктивність агрегату або машини за годину змінного часу: т/год	0,0028	0,0027
Балансова вартість, грн :		
машини	2390000	2390000
енергетичного засобу (трактора)	1100000	1100000
допоміжне обладнання		
Річне завантаження, год.:		
енергетичного засобу (трактора)	140	140
машини	140	140
допоміжне обладнання	1	1
Чисельність виробничого персоналу, чол.:		
основного	1	1
допоміжного персоналу	2	1
Годинні тарифні ставки, грн/люд.год :		
основного персоналу	80	80
допоміжного персоналу	48	48
Коефіцієнт, що враховує доплати:		
основного персоналу	1,1	1,1
допоміжного персоналу	1,1	1,1
Коефіцієнт відрахувань на реновацію:		
енергетичного засобу (трактора)	0,125	0,125
машини	0,142	0,142
допоміжне обладнання		

Продовження табл. 5.1

Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування енергетичного засобу (трактора)	0,22	0,22
машини	0,23	0,23
допоміжне обладнання		
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт: енергетичного засобу (трактора)	0,04	0,04
машини		
Витрата паливо-мастильних матеріалів, кг/га	32	32
Ціна 1 кг палива з врахуванням вартості мастильних матеріалів, що припадає на 1 кг палива, грн	55	55
Коефіцієнти затрати на зберігання від вартості технічного обслуговування енергетичного засобу (трактора)	0,065	0,065
машини	0,065	0,065
допоміжного обладнання		
Економія основних матеріалів (наприклад посівного матеріалу) витрата матеріалу на один гектар, ц ціна одиниці матеріалу, грн./ц витрата матеріалу на один гектар, ц ціна одиниці матеріалу, грн./ц	0,28 9000	0,269 9000
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень	0,15	
Коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту	0,95	
Коефіцієнт переведення оптової ціни в балансову	1,1	

Таблиця 5.2 - Результати розрахунку економічної ефективності

Показники	Машина	
	HORSCH Maestro 24	HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики
1	2	3
1. Річне напрацювання, га	16800	16800
2. Прямі затрати (грн/га) на:		
– оплату праці	0,74	0,74
– паливо-мастильні матеріали	840	840
– технічне обслуговування, поточний і капітальний ремонт	154,72	154,79
– реновацію	19,46	19,47
– інші прямі затрати	10,07	10,08
– всього прямих затрат	1024,99	1025,08
3. Капітальні вкладення, грн/га	136,92	136,98
4. Зведені затрати, грн/га	1045,53	1045,63
5. Економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції, грн./га	—	90
6. Річний економічний ефект від експлуатації нової машини, грн	—	1510336,80
7. Економічний ефект від виробництва і використання за строк служби нової машини, грн	—	5172386,3
8. Верхня межа ціни нової машини, грн	—	6793987,55
9. Лімітна ціна нової машини, грн	—	6454288,17
10. Затрати праці, люд.-год/га	0,02	0,02
11. Річна економія праці, люд.-год.	—	0
12. Ступінь зменшення затрат (в %)		
– праці	—	0
– прямих затрат	—	-0,01
– зведених затрат	—	-0,01
– капіталовкладень	—	-0,04

На основі аналізу таблиці 5.2, встановлено, що за умови проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння.

Отже, проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння. Коливання показника рівномірності висіву може сягати 14%, а економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції становить 90 грн./га Річний економічний ефект досягається, переважно, за рахунок економії посівного матеріалу й становитиме близько 1510336,80 грн.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Основними тенденціями зі захисту та відновлення родючості ґрунтів є виробництво за технологіями нульового обробітку ґрунту No-Till та смугового обробітку - Strip Till.

2. Для посіву насіння використовують універсальні, спеціальні та комбіновані сівалки, які поділяються на: моноблочні, роздільно-агрегатні, а також секційні. За типом агрегування розрізняють причіпні та навісні, а способом подачі насіння – механічні й пневматичні. Активне впровадження й розвиток цифрових технологій в сільськогосподарській техніці значною мірою підвищує ефективність роботи сівалок, дає можливість застосовувати автоматизовані електронні системи управління, програмне забезпечення з управління, звітності, супутникових систем навігації для ведення точного землеробства відповідно до програм «Сільське господарство 4.0».

3. Посівні машини HORSCH Maestro - це високопродуктивні сівалки точного висіву з пневматичним способом переміщення насіння та добрив.

Для точного поштучного дозування у висівних апаратах використовують вакуумний забір насіння дозувальними дисками. Для машин такого типу широко використовують електронні системи управління та контролю за робочими процесами.

4. Дослідження параметрів керуючих сигналів проводилось за портативним персональним комп'ютером та цифровим осцилографом Hantek 1008B, а цілісність електричних кіл живлення – за допомогою цифрового мультиметра UNI-T UT61D. Досліджено роботу сенсорів контролю висіву, живлення яких відбувається через 2 контакти (контакт «1» і контакт «4») напругою 12 В. А на контакті «2» відбувається генерація цифрового керуючого сигналу. Імітовано додатковий опір електричному колу 4 кОм (наприклад через поганий контакт, або його окислення), при цьому спостерігається генерація додаткових шумів на осцилограмі, через що слідкуючий сигнал за потоком насіння може надсилатись з певними похибками.

5. Випробування сівалки проводилось за наступних умов: схожість насіння 95%, лабораторна чистота 98,9 %, рослин на 1 м² - 9 шт., насінин на 1 м.п.- 7,4. Згідно отриманих даних, параметри висіву можуть різнитись залежно від технічного стану компонентів електронної системи управління, наприклад за додаткового навантаження опором, рівномірність висіву може знизитись до 12,4%, а корекція висіву може змінюватись в межах $\pm 4,5$ %.

6. Під час проведення технічного обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW з використанням удосконаленої методики діагностики покращується рівномірність висіву насіння. Коливання показника рівномірності висіву може сягати 14%, а Економічний ефект від економії витратних матеріалів, збільшення врожайності та якості отриманої продукції становить 90 грн./га Річний економічний ефект досягається, переважно, за рахунок економії посівного матеріалу й становитиме близько 1510336,80 грн

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Computer development based embedded systems in precision agriculture: tools and application (Вбудовані системи на основі комп'ютерної розробки в точному землеробстві: інструменти та застосування) [Saddik, Amine](#); [Latif, Rachid](#); [El Ouardi, Abdelhafid](#); [Elhoseny, Mohamed](#) [Khelifi, Adel](#) Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, vol. 72, issue 1, pp. 589-611 December 2022 [10.1080/09064710.2021.2024874](https://doi.org/10.1080/09064710.2021.2024874).
2. Artificial intelligence enables mobile soil analysis for sustainable agriculture (Штучний інтелект дозволяє мобільно аналізувати ґрунт для сталого сільського господарства) [Ferreira da Silva, Ademir](#); [Ohta, Ricardo Luis](#); [Tirapu Azpiroz, Jaione](#); [Esteves Fereira, Matheus](#); [Vitor Marçal, Daniel](#); eprint arXiv:2207.10537 July 2022 10.48550/arXiv.2207.10537 [arXiv:2207.10537](https://arxiv.org/abs/2207.10537) 2022arXiv220710537F
3. Smart Irrigation System for Precision Agriculture—The AREThOU5A IoT Platform (Розумна іригаційна система для точного землеробства — платформа AREThOU5A IoT) [Boursianis, Achilles D.](#); [Papadopoulou, Maria S.](#); [Gotsis, Antonis](#); [Wan, Shaohua](#); [Sarigiannidis, Panagiotis](#); IEEE Sensors Journal, vol. 21, issue 16, pp. 17539-17547 August 2021 [10.1109/JSEN.2020.3033526](https://doi.org/10.1109/JSEN.2020.3033526) 2021ISenJ..2117539B
4. Computer development based on embedded systems in precision agriculture: tools and applications (Комп'ютерні розробки на основі вбудованих систем у точному землеробстві: засоби та додатки) [Saddik, Amine](#); [Latif, Rachid](#); [El Ouardi, Abdelhafid](#); [Elhoseny, Mohamed](#); [Khelifi, Adel](#) Acta Agriculturae Scandinavica, Section B — Soil & Plant Science, vol. 72, issue 1, pp. 589-611 December 2022 [10.1080/09064710.2021.20248](https://doi.org/10.1080/09064710.2021.20248) 2022AcASB..72..589S .
5. Research on crop growth system of precision agriculture in field management based on wireless sensor (Дослідження системи вирощування сільськогосподарських культур точного землеробства в польових умовах на основі бездротового датчика) [Yang, Guo](#); [Cheng, Guangrong](#); [Wang, LiMing](#); [Yang, RuPing](#); [Wang, Xinghui](#); [Wang,](#)

[Hongwen;Su, Yuqin](#) Proceedings of the SPIE, Volume 12349, id. 1234902 6 pp. (2022).
October 2022 [10.1117/12.2657398](#) 2022SPIE12349E..02Y

6. Машини для технології Strip-till. Агробізнес сьогодні. [Електронний ресурс].
Режим доступу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/9965-mashyny-dlia-tekhnologii-striptill.html>. Дата останнього звернення: 07.11.2020 р.

7. Пивовар П.В. Методологічні основи аналізу економічної ефективності використання машинно-тракторного парку / П.В. Пивовар // Вісн. ЖНАЕУ (економічні науки) – 2010. № 2 (27). – с. 42-51.

8. Руденко М.В. Вплив цифрових технологій на аграрне виробництво: методичний аспект / Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. Том 30 (69). № 6, 2019 р., с. 30 – 37. DOI: <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-6-28>

9. John Deere. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.deere.ua/uk/index.html> Дата останнього звернення: 01.12.2021 р.

10. Ільченко В.Ю., Кобець А.С., Мельник В.П., Карасьов П.І., Кухаренко П.М., Ільченко А.В. Практикум з використання машин у рослинництві / Дніпропетровський держагроуніверситет. – Дніпропетровськ, 2002. – 212с.

11. Improvement of equipment for basic tillage and sowing as initial stage of harvest forecasting [Text] / K.V. Vasytkovska, S.M. Leshchenko, O.M. Vasytkovskyi, D.I. Petrenko // INMATEH - Agricultural Engineering – Romania, Bucharest: INMA. Vol. 50, No.3. 2016, 13-20.

12. Аніскевич Л.В., Войтюк Д.Г., Захарін Ф.М., Адамчук Н.І., Пономаренко С.О. Основи застосування високоточних технологій рослинництва. /Монографія/ – К: - НУБіП України, 2020, - 405 с.

13. Власенко В. Передові технології в аграрному комплексі / В. Власенко // Винахідник і раціоналізатор : науково-популярний, науковий журнал. - 2018. - № 2. - С. 19-21.

14. Курсова точність: технології точного землеробства // FARMER. - 2018. - № 8. - С. 14-40.
15. Огійчук В. Шлях до всебічного контролю / В. Огійчук // FARMER. - 2018. - № 8. - С. 20-23.
16. Гончарук І.В., Ковальчук С.Я., Цицюра Я.Г., Лутковська С.М. Динамічні процеси розвитку органічного виробництва в Україні. Вінниця : ТОВ «ТВОРИ», 2020. – 478 с. ISBN 978-966-949-672-0
17. Система точного землеробства: підручник / Л.В. Аніскевич, Д.Г. Войтюк, Ф.М. Захарін, С.О. Пономаренко; за ред. Л.В. Аніскевича. К: НУБіП України, 2018. – 566 с.
18. Огійчук В. «Точний» прибуток з гектара / В. Огійчук // The Ukrainian Farmer. – 2018. - № 8. – С. 24–28.
19. Точне землеробство. Офіційний сайт компанії Case. [Електронний ресурс]: - Режим доступу: <http://titanmachinery.ua/katalog-tehniki/cat/tochnoe-zemledelie>
20. Залож В. І. Підвищення ефективності контролю технічного стану транспортних дизелів шляхом використання методу аналітичної синхронізації даних моніторингу: дис. . канд. техн. наук: 05.22.20 / Нац. ун-т "Одес. морс. акад.". Одеса. 2020. 238 с.
21. Циліорик О. Доцільність і ефективність застосування технологій точного землеробства /Циліорик О. Стаття. Журнал "[Агрономія сьогодні](http://agronomy.com.ua/)".- 07. 2023 <http://agronomy.com.ua/>.
22. Точне землеробство – зниження собівартості та підвищення врожайності/ Мельник О. /№ 11 АгроЕліта .- 2023 . <https://agroelita.info/tochne-zemlerobstvo-znyzhennya-sobivartosti-ta-pidvyshhennya-vrozhajnosti/>
23. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., Skibchyk, V. (2021). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення

добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. Агроінженерні дослідження, 24, 77-82. <https://doi.org/10.31734/agroengineering2020.24.077>.

24. Мигаль, В.Д. Мехатронні та телематичні системи: монографія. Вид-во Майдан, Харків, 2017. 307 с.

25. Попович О.М. Автоматичні системи управління посівними машинами. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 144, 2010. С. 118–125.

26. HORSCH MAESTRO. URL: <https://www.horsch.com/ru/produkty/mashiny-dlja-poseva/diskovye-posevnye-kompleksy/pronto-dc>. (дата звернення: 04.06.2024р.).

27. Аніскевич Л. В.. Управління системами високоточного дозування технологічних матеріалів. Науковий вісник НУБіП України. Серія: Техніка та енергетика АПК, 196, 2014. С. 264–277.

28. Андрійчук В. Г. Економіка підприємств агропромислового комплексу : підручник / В. Г. Андрійчук. – К. : КНЕУ, 2018. – 779 с.

ДОДАТКИ