

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка кваліфікаційного проекту на 55 с машинописного тексту, 21 рис., 2 табл., 20 літературних джерел, \_\_ додаток(ки).

**ТОЧНЕ ЗЕМЛЕРОБСТВО, СІВАЛКИ HORSCH MAESTRO, NO-TILL, СМУГОВИЙ ОБРОБІТОК ҐРУНТУ, ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ, АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ, ОХОРОНА ПРАЦІ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ**

Об'єктом дослідження є процес сівби сільськогосподарських культур із використанням технологій точного землеробства.

Предметом дослідження є вдосконалення ефективності роботи сівалок за рахунок інтеграції сучасних автоматизованих систем керування та цифрових технологій.

В результаті дослідження було вдосконалено алгоритми керування сівалкою HORSCH Maestro з використанням цифрових інструментів моніторингу. Розроблено методику діагностики роботи електронної системи сівалки для підвищення рівномірності висіву насіння. Також було проведено тестування сівалки в польових умовах, що підтвердило економічну вигоду та підвищення продуктивності.

Наведено: Електронна карта поля, Алгоритм реалізації дифвисіву насіння, Лабораторний стенд із інтегрованою ЕСУ сівалки точного висіву HORSCH, Термінал управління сівалкою, Інтерфейс із налаштуваннями обертів дозатора відповідно до норми внесення добрив, Фрагмент дослідження сенсорів потоку висіву, Система імітації несправності ЕСУ сівалки, Характеристика КС сенсора контролю висіву, Характеристика КС сенсора швидкості руху.

Впровадження розроблених рішень може значно підвищити точність та ефективність сівби, зменшити витрати на насіннєвий матеріал і добрива, а також покращити загальну врожайність завдяки оптимізації роботи сільськогосподарських агрегатів.

Розроблені заходи з охорони праці.

Проведено аналіз економічної доцільності.

## **ЗМІСТ**

<b>ВСТУП</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>6</b>
1.1 Основні види сільгоспкультур і технології їх вирощування	6
1.2 Аналіз сучасних технологій вирощування сільгоспкультур	10
<b>РОЗДІЛ 2. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОННОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВИСІВОМ</b>	<b>16</b>
2.1 Аналіз вихідних даних	16
2.2 Аналіз точності посіву згідно даних сенсора інтенсивності потоку насіння	19
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКИ Й РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ</b>	<b>24</b>
3.1 Вихідні дані й умови проведення досліджень	24
3.2 Методика й обладнання для дослідження ЕСУ сівалки	32
3.3 Результати дослідження керуючих сигналів ЕСУ сівалки	34
3.4 Результати оцінки похибки дозування при несправності компонентів ЕСУ сівалки	38
<b>РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ</b>	<b>43</b>
<b>РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА</b>	<b>46</b>
<b>ВИСНОВКИ</b>	<b>50</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ</b>	<b>52</b>
<b>ДОДАТКИ</b>	<b>55</b>

## ВСТУП

Технології точного землеробства набувають все більшої популярності в аграрному секторі України та світу завдяки можливості підвищення ефективності сільськогосподарських операцій і зменшення витрат. Використання сучасних цифрових інструментів, таких як GPS-навігація, сенсори, дрони та програмне забезпечення для аналізу даних, дозволяє здійснювати сівбу з високою точністю, враховуючи характеристики ґрунту, погодні умови, а також стан посівного матеріалу. У сучасних умовах аграрного виробництва, коли ресурси обмежені, а економічні виклики постійно зростають, технології точного землеробства стають необхідним інструментом для підвищення врожайності та зниження витрат на вирощування культур.

Україна, як один із провідних аграрних експортерів, стикається з новими викликами, які пов'язані зі змінами клімату, нестабільністю на світових ринках та війною. В таких умовах ефективне використання ресурсів набуває критичного значення. Технології точного землеробства допомагають сільгоспвиробникам більш раціонально використовувати добрива, воду, паливо та насіння, що не тільки економить кошти, але й зменшує негативний вплив на довкілля. Актуальність даної теми також зумовлена необхідністю підвищення конкурентоспроможності українських фермерів на міжнародному ринку, де економічна ефективність та екологічність виробництва є ключовими факторами успіху.

Розрахунок ефективності проведення операцій сівби з використанням технологій точного землеробства є важливим інструментом для прийняття управлінських рішень. Аналіз економічних і агротехнічних показників дозволяє оцінити доцільність інвестування в такі технології та спрогнозувати результати їх впровадження.

## РОЗДІЛ 1

### СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 1.1 Основні види сільгоспкультур і технології їх вирощування

Сільськогосподарські виробники в першу чергу зосереджують свої зусилля на різноманітних завданнях, пов'язаних з вирощуванням сільськогосподарських культур, у кількох ключових напрямках:

- оцінка ринкової кон'юнктури;
- впровадження ефективних стійких технологій і методів вирощування;
- підвищення врожайності;
- зниження собівартості продукції та усунення неефективної практики;
- комплексна боротьба зі шкідниками та хворобами;
- усунення кліматичних, екологічних ризиків і ризиків для здоров'я людини;

- дотримання нормативної бази, що регулює галузь. Загалом рослинництво охоплює різноманітні типи та системи сільськогосподарської практики, які відрізняються залежно від конкретної культури та її цільового використання. На вибір фермерами певних культур — кормових, технічних чи просапних — (рис. 1.1) впливають ґрунтово-кліматичні фактори, а також існуючі традиційні, органічні чи інноваційні системи господарювання та виробництва. Вирощування кукурудзи, пшениці, сої, соняшнику, тютюну приносить фермерам значні прибутки. Крім того, рослинництво є основою для виробництва кормів і вирощування культур, необхідних для підтримки молочного та м'ясного секторів. Для виробництва кормів використовуються кукурудза, пшениця, люцерна, соєві боби, а також соєвий шрот, силос, сіно та солома тощо. Для забезпечення добробуту тварин, які утримуються на фермах, надзвичайно важливо забезпечити їх достатніми кормами, а також дієтичними, вітамінними та мінеральними добавками, крім трави, сіна та солом'яної підстилки [1].

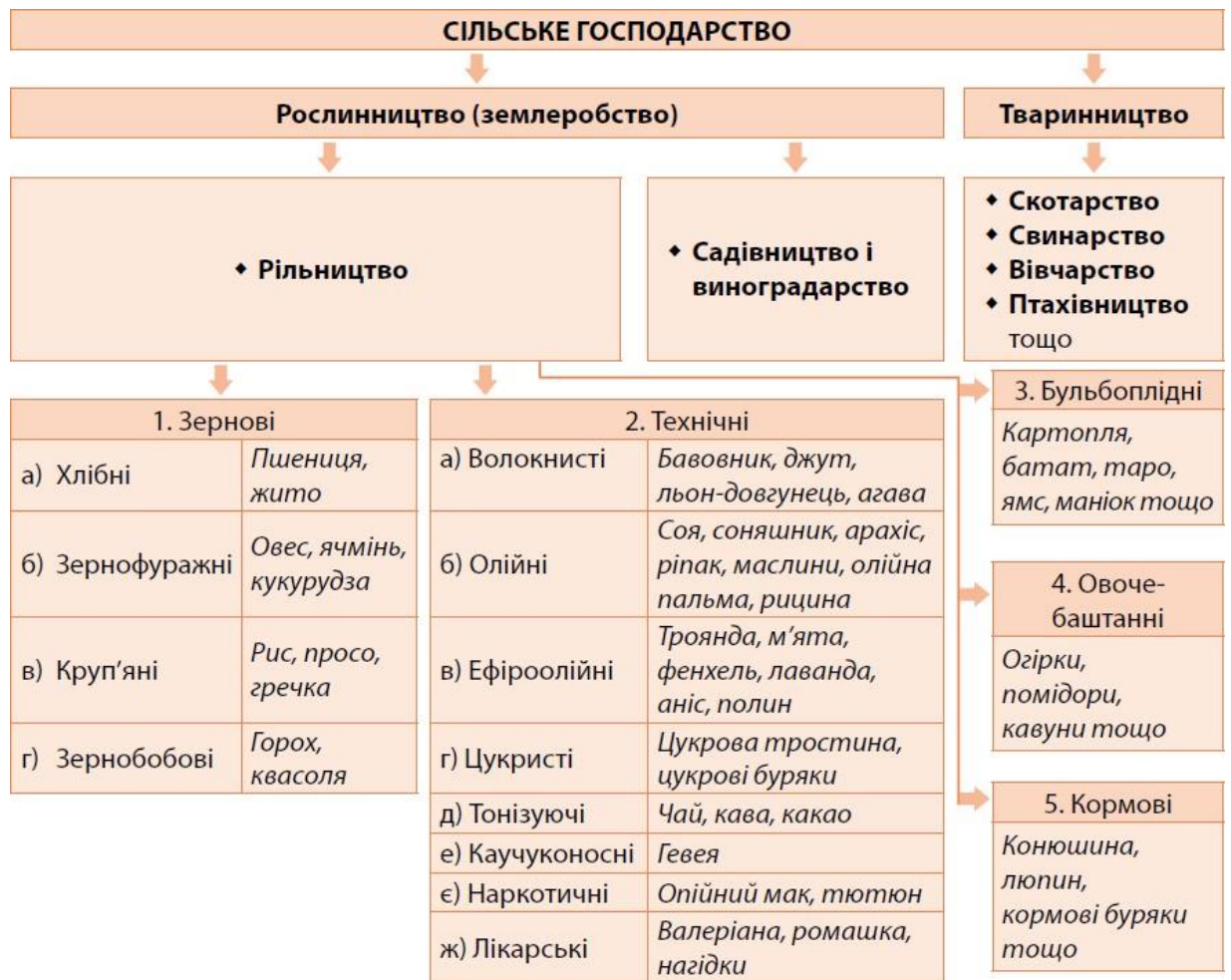


Рисунок 1.1. Основні напрями сільсьгосп виробництва

Численні організаційно-виробничі системи виникають в результаті дії різноманітних факторів, у тому числі природних, технологічних і економічних. Серед методів виробництва продовольчих культур є змішане землеробство, натуральне сільське господарство, плантаційне землеробство та інші. Змішана система землеробства передбачає одночасне вирощування сільськогосподарських культур із тваринництвом. Протягом сезону безперервно вирощуються різноманітні культури з різними термінами дозрівання, використовуючи оптимальні практики та усталені технології.

Малі, особисті та підсобні господарства дають можливість їх власникам вирощувати продукцію з використанням основних знарядь землеробства на обмежених площах. За таких обставин як продуктивність, так і врожайність, як правило, є значно низькими, оскільки використання енергетичних ресурсів,

систем зрошення, добрив, пестицидів або високоякісного насіннєвого матеріалу є нечастим [2].

Вирощування деревних культур, у тому числі фруктів, ягід, какао, чаю, кави, каучуку і прянощів, становить основу садівництва і плантаційного землеробства, яке ведеться в промислових масштабах на великих площах. Цей сектор вимагає виняткових організаційних і технологічних знань, а також значних довгострокових капіталовкладень у різні ресурси, такі як заводи, машини, складські приміщення, добрива та інше необхідне обладнання.

У змішаній системі землеробства фермери часто використовують чагарникові або частково лісисті регіони, очищаючи ці території, зрізаючи та переробляючи залишки рослин протягом кількох років. Внаслідок зниження родючості землі перепрофільовуються під пасовища та сіножаті.

В даний час використовуються різноманітні виробничі технології, в основному засновані на системі обробітку ґрунту, яка використовується як у малих, так і у великих сільськогосподарських підприємствах, а також у корпораціях. Ця технологія полегшує вирощування однорічних культур, виключаючи змішане або пасовищне землеробство.

Підприємства, які займаються розведенням великої рогатої худоби або тваринництвом, як правило, утримуються від вирощування сільськогосподарських культур, зосереджуючись виключно на виробництві м'яса [3]. Ефективність тваринництва та рослинництва має вирішальне значення, оскільки ці продукти є основними джерелами існування, що впливає на здоров'я, засоби до існування, продовольчу безпеку та економічну стабільність людей. Враховуючи те, що рослинництво є значним джерелом продовольчих і технічних ресурсів, створено систему класифікації сільськогосподарських культур за їх основним функціональним призначенням і напрямком використання ресурсів.

Культурні рослини належать до тих самих видів, які вирощуються та вирощуються у значних кількостях в одному місці. Переважаючою категорією в

цій класифікації є продовольчі культури, які охоплюють зернові, кормові культури, продовольче насіння та бобові.

- Посіви овочів і баштанних культур.

- Продукція садівництва та виноградарства.

- Трави і спеції. Ця категорія охоплює такі культури, як чорний перець, імбир, мікрозелень тощо.

- Кормові культури та їхнє насіння.

- Олійні культури, які використовуються для виробництва олії за допомогою процесів подрібнення насіння та механічного пресування або екстракції.

- Волоконні та бобові культури. Ці культури культивуються спеціально для виробництва волокон, необхідних для створення текстилю, мотузок і наповнювачів.

- В основному декоративні культури вирощуються в естетичних цілях, у тому числі кімнатні та свіжозрізані квіти.

- технічні культури, які часто називають товарними, вирощуються в промислових масштабах з метою отримання максимального прибутку; наприклад, бавовна, цукрова тростина, кава, чай, тютюн та каучук.

Крім того, рослини можна класифікувати за життєвим циклом. Однорічні культури, які завершують свій життєвий цикл протягом одного року, виростають із насіння, прогресують до цвітіння та збираються протягом одного вегетаційного періоду. Ці культури потребують пересадки кожного сезону.

- Дворічні культури характеризуються дворічним біологічним циклом, протягом якого перший рік присвячений виробленню вегетативних структур, таких як листя, стебла та коріння, які зазвичай проявляються у вигляді невеликих утворень біля землі. У наступний вегетаційний період у цих культур відбувається подовження стебла, розвиток суцвіть і дозрівання насіння, як це видно на прикладах, таких як цибуля, морква та капуста.

- Багаторічні культури, з іншого боку, відносяться до культивованих рослин, які проходять біологічний цикл, що триває понад два сезони вегетації. Як правило, рослина гине протягом зимових місяців, але в наступному сезоні воно відростає з тієї самої кореневої системи.

Сільськогосподарські культури класифікуються за сезонами наступним чином:

- Ярові культури.
- Озимі посіви.
- Культури, які вирощуються в певні сезони.

## **1.2 Аналіз сучасних технологій вирощування сільгоспкультур**

У зв'язку з проблемами, пов'язаними з глобальним потеплінням, виробники докладають значних зусиль, щоб запобігти погіршенню родючості ґрунту, ерозії та надмірному ущільненню. Тому провідні вчені та спеціалісти галузі ретельно оцінюють технології нульового обробітку ґрунту. Зокрема, серед їхніх знахідок виділяються такі технології:

Технологія No-till стала значним прогресом у сільському господарстві. В останні десятиліття фермери в усьому світі дедалі більше відходять від звичайних практик оранки, обираючи натомість альтернативні методи обробітку ґрунту та посіву.

No-till, що походить від англійської фрази «без оранки», представляє сільськогосподарський метод, який уникає будь-якої обробки ґрунту перед посівом протягом тривалого періоду. Цей прийом характеризується висівом насіння безпосередньо в необроблений шар ґрунту, при цьому на поверхні залишається значна кількість рослинних решток. Для ефективного використання технології No-Till необхідно впровадити:

- обґрунтована система сівозміни;
- внесення необхідних кількостей добрив;
- використання засобів захисту рослин;
- використання відповідної

техніки та обладнання. За технологіями No-Till обов'язковим елементом технологічного процесу є мульча — подрібнені рештки рослинних культур (рис. 1.2). Враховуючи те, що цей метод відносно новий, він вимагає спеціальних знань і навичок; отже, для досягнення бажаних позитивних результатів необхідний системний підхід [4].



Рисунок 1.2. Вигляд посівів при використанні No-Till підходу

Основними перевагами технології No-Till є, насамперед, збереження родючості ґрунту. Крім того, цей метод дає кілька позитивних результатів, включаючи 120% зниження витрат на паливо, 60% скорочення витрат на оплату праці та 50% зниження витрат на придбання та експлуатацію обладнання. Дотримання цієї технології може призвести до підвищення врожайності до 50%, а загальні витрати на виробництво можуть знизитися приблизно на 5-15%.

Впровадження практики No-Till пом'якшує як вітрову ерозію гумусу, так і водну ерозію. У цих умовах рослинні залишки зберігаються на полі і згодом розкладаються на відходи збирання врожаю. Цей процес призводить до збільшення вмісту органічних речовин у ґрунті, підвищення рівня гумусу та накопичення вологи.

Окрім зменшення споживання палива за рахунок нульової очистки, відбувається відповідне зниження рівня шкідливих викидів в атмосферу. Однак система No-Till має певні недоліки, зокрема:

- Біологічна активність рослин знижується, коли родючий шар ґрунту стає надмірно насиченим, особливо у випадках недостатнього дренажу.

- Сприятливі умови для розмноження патогенних організмів, шкідників та інфекцій виникають через накопичення вологи в поєднанні зі значною кількістю органічних речовин і залишків.

- Зимовий період може створити сприятливе середовище для виживання фітофагів, що ускладнює боротьбу з мишоподібними гризунами.

- Є потреба в придбанні спеціалізованої техніки, зокрема сівалок прямого посіву, а технологія No-Till потребує висококваліфікованих агрономічних і технічних кадрів.

- Необхідно впровадити нову систему хімічного захисту рослин і боротьби з бур'янами.



Рисунок 1.3. Фото процесу прямого висіву із паралельним локальним внесенням мінеральних добрив

Застосування нульового обробітку ґрунту, що включає всі технологічні елементи, призводить до того, що врожайність культур не тільки залишається стабільною, але й фактично відчуває невелике підвищення. Це явище можна пояснити поступовим відновленням родючості ґрунту за допомогою технології No-Till.

Технологія Strip Till являє собою зростаючу тенденцію серед практикуючих сільськогосподарських працівників щодо мінімізації обробки ґрунту в рослинництві. Цей підхід обробітку ґрунту поєднує нульовий обробіток ґрунту з основним обробітком вузьких смуг спеціально для посіву просапних культур (рис. 1.4) [5].



Рисунок 1.4. Обробка ґрунту з використанням технології Strip till

Ця технологія дозволяє безпосередньо обробляти вузькі смуги шириною від 10 до 25 см уздовж стерні, залишаючи при цьому самі ряди недоторканими. Одночасно в оброблені смуги зазвичай вносять добрива. Важливо, щоб ширина цих смуг збігалася з шириною рядків сівалок, які використовуються для сівби.

Смугове вирощування відбувається восени після збору врожаю або безпосередньо перед посівом. Переваги, пов'язані з технологією Strip Till, відображають переваги вищезгаданого методу.

- Зменшення ерозії ґрунту;
- значне енергозбереження, оскільки обробляється лише частина ґрунту;
- зменшення викидів вуглецю в атмосферу;
- збереження високого рівня органічних та поживних речовин у складі гумусу;
- швидке нагрівання оброблених смуг і насіння для полегшення проростання насіння і появи сходів;
- підвищення врожайності при мінімізації питомих витрат на обробіток ґрунту.

Служба збереження природних ресурсів (NRCS) активно просуває смуговий обробіток ґрунту через свої програми. Ця служба запровадила оцінку інтенсивності обробітку ґрунту (STIR), числовий показник, який враховує середньострокову водну ерозію ґрунту. Ферми, які досягають значення STIR менше 20, мають право на спеціальну програму стимулювання. Значення STIR коливаються від 0 до 200, причому нижчі значення відображають зменшення змін у структурі та родючості ґрунту [6].

Наслідки поглинання вуглецю суттєво впливають на глобальний цикл вуглецю, коли вуглець викидається в атмосферу, але може поглинатися ґрунтом. Коли вуглець зберігається у зв'язаному вигляді в ґрунті, він може знову потрапити в атмосферу у вигляді вуглекислого газу (CO<sub>2</sub>) і метану (CH<sub>4</sub>). Зв'язок між органічною речовиною ґрунту та родючістю ґрунту є прямим і має позитивну кореляцію з потенціалом сільськогосподарської продуктивності. Нещодавні дослідження показують, що методи дискового боронування та смугового обробітку ґрунту можуть призвести до скорочення викидів CO<sub>2</sub> на 83% у порівнянні з традиційними методами оранки.

У необроблених міжряддях рештки рослинності перешкоджають випаровуванню з верхніх шарів ґрунту, що призводить до відносно високої вологості необробленого ґрунту від 90 до 100%, що сприяє проростанню насіння.

### ***Висновки***

1. В Україні здавна переважаючим видом сільськогосподарського виробництва було рослинництво, що пояснюється сприятливими ґрунтово-кліматичними умовами.

2. Основними напрямками збереження та відновлення родючості ґрунтів є впровадження у сільськогосподарському виробництві No-Till та смугового обробітку ґрунту.

3. Для посіву насіння використовують універсальні, спеціальні та комбіновані сівалки, які можна розділити на три види: моноблочні, окремо-агрегатні та секційні. За типом агрегування ці сівалки поділяються на причіпні та навісні, а за способом подачі насіння розрізняють механічні та пневматичні системи подачі.

4. Ефективне застосування та розвиток цифрових технологій у сільськогосподарській техніці значно підвищує ефективність сівалок. Цей прогрес полегшує використання автоматизованих електронних систем керування, програмного забезпечення для управління, інструментів звітності та супутникових навігаційних систем, які створені для точного землеробства відповідно до встановлених програм.

## РОЗДІЛ 2

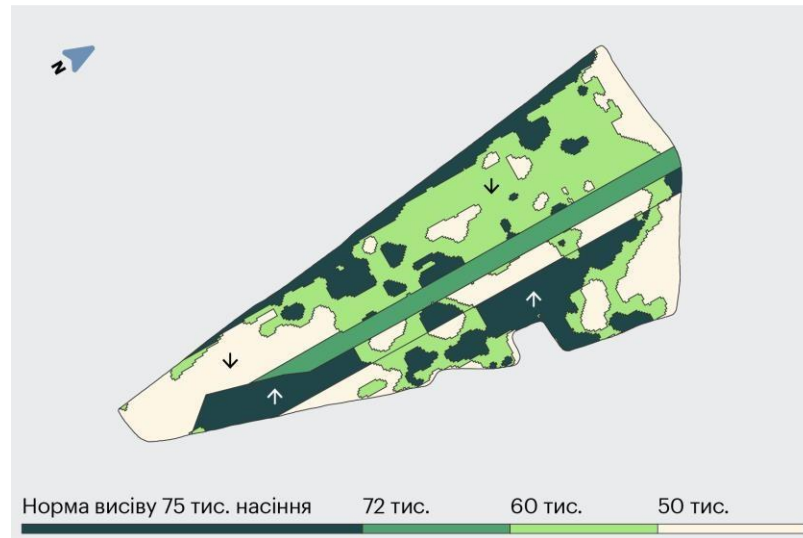
### ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ ЕЛЕКТРОННОГО АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВИСІВОМ

#### 2.1 Аналіз вихідних даних

Сучасні сівалки точного висіву в умовах точного землеробства пред'являються до жорстких стандартів щодо дотримання агротехнічних норм і максимальної точності розподілу насіння по посівному ложу, зокрема щодо густоти посіву. Крім того, окрім забезпечення точного та рівномірного посіву, сівалка повинна мати можливість гнучко адаптуватися до різноманітних культур, а також використовувати електронні карти полів для автоматичного налаштування норми для диференційованого дозування (рис. 2.1 а). Для ефективного впровадження технології диференційованої сівби за електронними картами полів необхідно провести аналіз картограм, що деталізують механічну міцність, хімічний склад і вологість ґрунту, а також карт урожайності (рис. 2.1 б) попередніх річних врожаїв. На основі цього аналізу та кореляційних зв'язків між зазначеними показниками приймаються рішення щодо диференційованого підходу до сівби та локалізованого внесення добрив у різних зонах поля [7].



а



б

Рисунок 2.1. Електронна карта поля:

а – карта врожайності минулого року; б - карта дифвісіву

Використовуючи електронну карту поля, електронна система керування сівалкою виконує процес посіву в автоматизованому режимі. Під час операції заповнення система оцінює інформацію про завдання, отриману з файлу карти на основі розташування, наданого системними даними GNSS (рис. 2.2). Управління і контроль роботи механізмів здійснюється польовим комп'ютером.

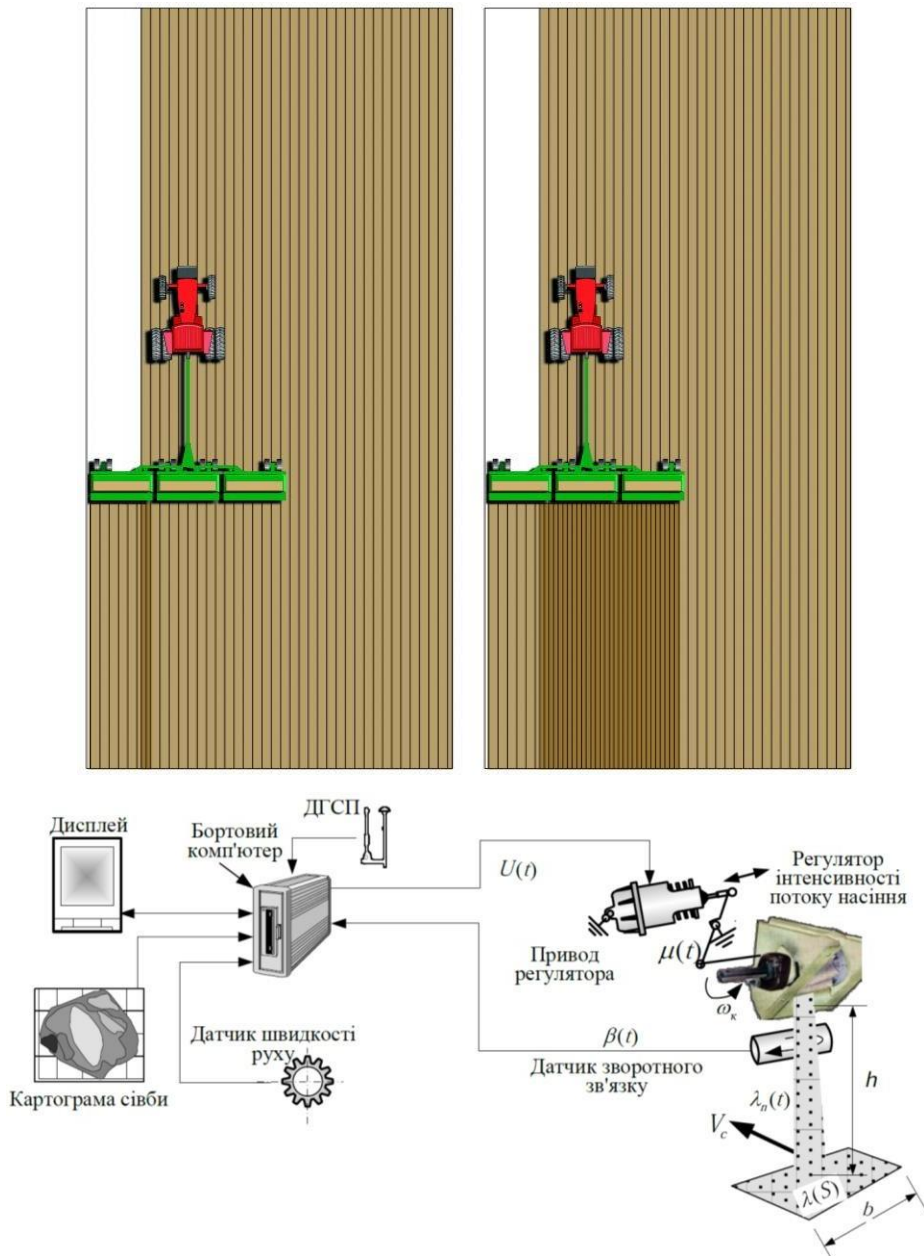


Рисунок 2.2 – Алгоритм реалізації дифвісіву насіння

У процесі вирощування сільськогосподарських культур із застосуванням систем точного землеробства МТА перетинають поле за попередньо встановленою схемою руху, узгодженою з конкретним завданням і координатами місця. Одночасно датчик контролює інтенсивність потоку насіння, пересилаючи інформацію назад на польовий комп'ютер, який за потреби регулює інтенсивність дозування насіння [8].

## 2.2 Аналіз точності посіву згідно даних сенсора інтенсивності потоку насіння

В основі технології точного висіву в основному лежать принципи суворої точності при виконанні технологічних операцій за встановленими завданнями. Коли всі компоненти системи працюють ефективно, якість посіву надзвичайно висока. Тим не менш, різні фактори на практиці можуть підірвати фундаментальний принцип точного диференційованого посіву. Основними факторами, що впливають на технологічність посівних машин цієї категорії, є:

- Неадекватна організація та налаштування системи;
- збої в електронній системі управління, включаючи її вузли та механізми;
- знос і фізичний знос робочих частин;
- неякісне технічне обслуговування та поточні операції.

Отже, з часом точність висівних машин значно погіршується. Враховуючи те, що першочерговим показником технологічності є точне дотримання норми висіву та щільності розміщення насіння в рядках, необхідно контролювати ці параметри.

У процесі підготовки посівних агрегатів до роботи закріплюється відповідний дозаторний барабан для посіву конкретної культури. Згодом щільність розподілу насіння на посівному ложі, позначена як  $\lambda(S)$ , контролюється та регулюється, одночасно контролюючи інтенсивність потоку насіння, представлену як  $\lambda(t)$ .

Наприклад, у сівалки регулювання норми висіву може здійснюватися двома способами: зміною частоти обертання робочого органу дозатора або зміною робочої довжини або частоти обертання робочого органу висівного пристрою. Найпростішим способом зміни норми висіву є регулювання частоти обертання вала дозатора, особливо коли він живиться від електроприводу. Крім того, польовий комп'ютер повинен враховувати швидкість руху МТА,

використовуючи дані від датчика швидкості руху, одночасно враховуючи інтенсивність висіву та вносячи автоматичні коригування за необхідності [9].

Основним стандартом оцінки ефективності сівалок точного висіву є відсутність розбіжностей між заданою та фактичною нормами висіву. Аналіз ефективності технологічного процесу посіву за цими заданими параметрами необхідно проводити в режимі реального часу з урахуванням комплексу технологічних, експлуатаційних, ґрунтово-кліматичних факторів. Коригування норми висіву відповідно до вимог диференціальної карти висіву для збільшення або зменшення подачі не повинно призводити до зниження кількості та розподілу насіння в рядку.

Щоб досягти цього, ми визначаємо щільність розподілу закладеного насіння  $\lambda(S)$ , виражену в рядах на одиницю площі поля, використовуючи таку формулу:

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

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

$b$  - відстань між рядками;

$V_c$  - швидкість руху МТА по полю.

Поряд із визначеною нормою висіву для просапних культур важливо підтримувати рівномірний розподіл щільності насіння, забезпечуючи постійну відстань між насінням на посівному ложі. Отже, дозування насіння має відбуватися динамічно, при цьому фактична інтенсивність потоку насіння повинна відповідати встановленій нормі. Таким чином, інтенсивність фактичного потоку насіння становить [10]:

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

Подальшим елементом, що впливає на точність дозування, є постійна помилка, що виникає при оцінці індивідуального локального значення МТА на основі даних глобальної навігаційної системи. Датчик швидкості визначає

швидкість руху МТА, і в залежності від цього відбувається регулювання подачі насіння, остаточно оцінене датчиком висіву. Ці три датчики взаємопов'язані, забезпечуючи зворотний зв'язок, необхідний для генерації відповідного керуючого сигналу. Використовуючи це взаємозв'язок, польовий комп'ютер керує контролером приводу, завершуючи цикл керування.

Динамічна система часто відхиляється від встановленої норми висіву.

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

де  $\mu$  - 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;

$\xi_{va}$  - можливість появи випадкових відхилень.

Завдяки складній природі конструкції приводу, впливу інерції та значної кількості передач у системах дозування зміна інтенсивності потоку формулюється наступним рівнянням:

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

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

$U(t)$  - зміна керуючого сигналу.

Для забезпечення ефективного розподілу насіння по полю важливо отримати оперативний зворотний зв'язок як щодо зміни керуючого сигналу, так і щодо негайної реакції приводу системи дозування. Збираються параметри вихідного сигналу для керування потоком насіння.

Це виглядає так:

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

Щоб забезпечити ефективне функціонування системи відстеження дії дозування посівного матеріалу, необхідно досліджувати параметри керуючого сигналу в широкому спектрі різноманітних факторів впливу та перехідних процесів у системі керування. Параметри керуючого сигналу виражаються наступним чином:

$$U = J[z(t)], \quad (2,6)$$

Отже, загальна характеристика функції датчика висіву набуває значення.

$$W_k = \frac{K_k}{T_k^2 p^2 + D_k p + 1}, \quad (2,7)$$

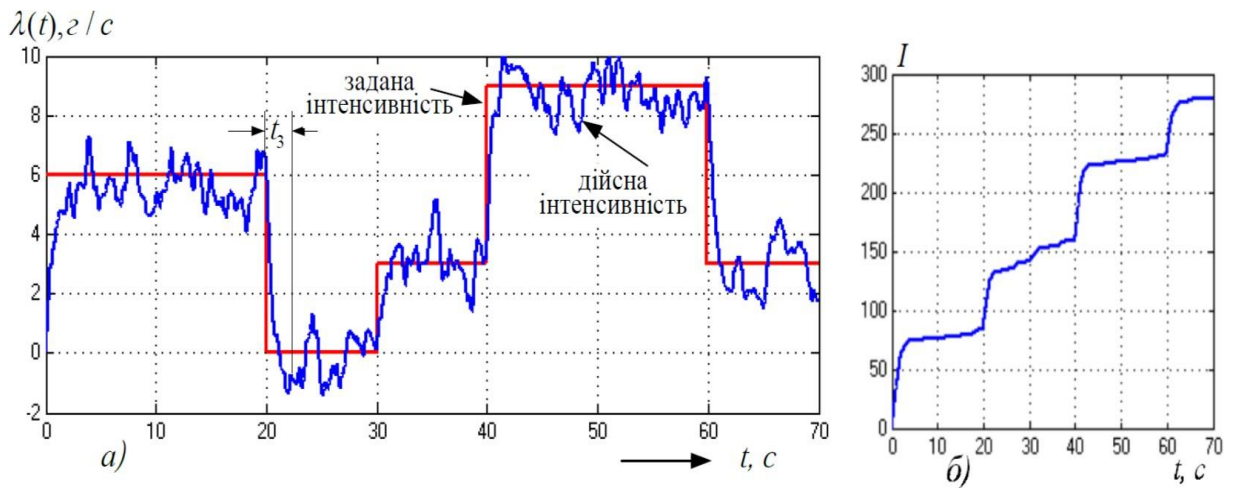


Рисунок 2.3. Знаходження різниці між заданою і реальною нормою висіву (згідно даних сенсора висіву)

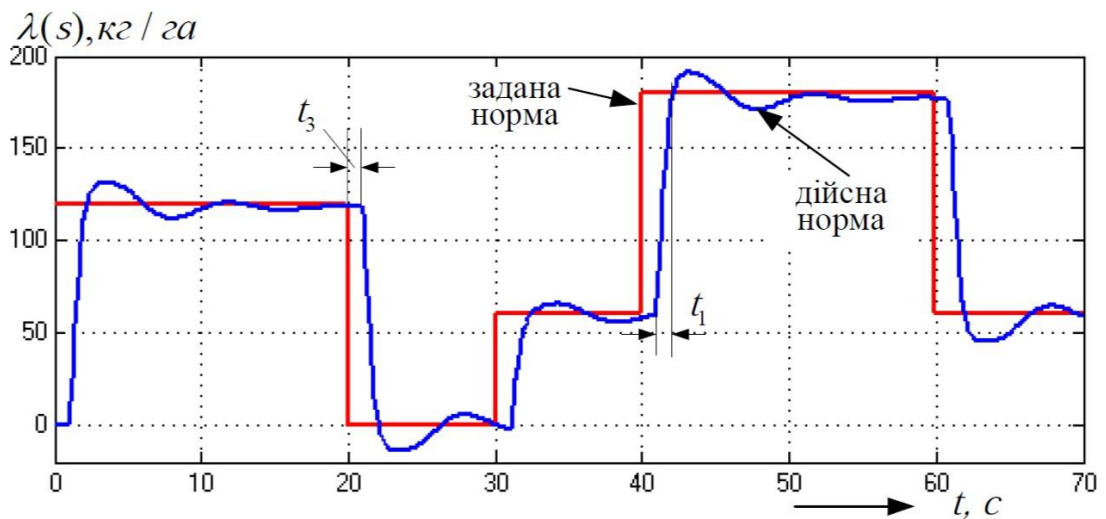


Рисунок 2.4. Знаходження різниці між заданою і реальною апроксимованою нормою висіву (згідно даних польового комп'ютера)

Рисунки 2.3 і 2.4 ілюструють необхідність використання системи, яка має високоякісні характеристики у відстеженні дій, щоб гарантувати ефективний висів і дозування насіння. Для цього важливо використовувати датчики, які демонструють низький рівень шуму в керуючому сигналі [11].

### ***Висновки***

1. Типовий функціонал сівалок точного висіву, оснащених електронними картами полів, включає автоматичне регулювання дозування та регулювання потоку насіння. Ці машини працюють на основі даних, отриманих із глобальної навігаційної системи, відповідно до директив, викладених на електронній карті.

2. Електронна система керування сівалкою автоматично регулює норму висіву та контролює кількість висіваного насіння.

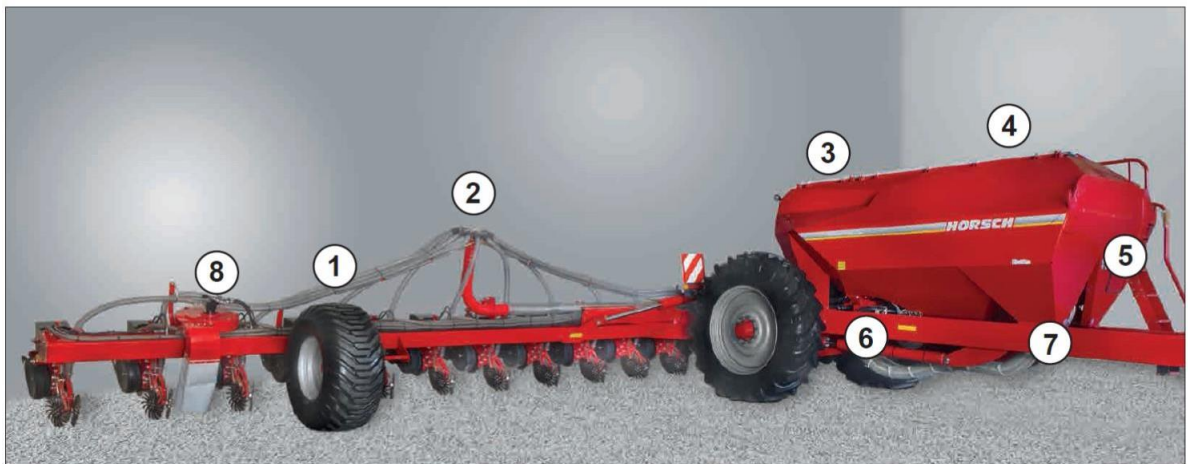
3. Погіршується дозування та розподіл насіння в рядку щодо заданої норми внаслідок дії багатьох технологічних, експлуатаційних, ґрунтово-кліматичних факторів.

## РОЗДІЛ 3

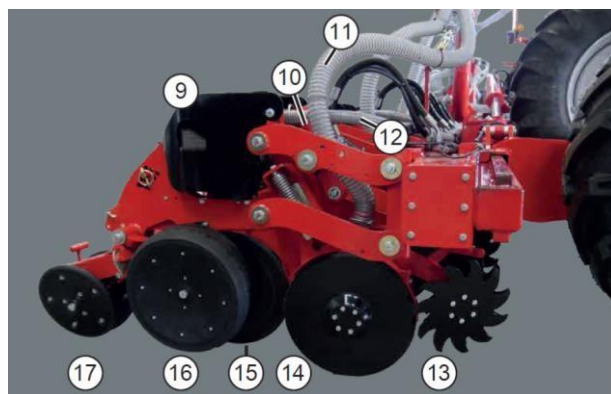
### МЕТОДИКИ Й РЕЗУЛЬТАТИ ПРОВЕДЕНИХ ЕКСПЕРЕМАНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

#### 3.1. Вихідні дані й умови проведення досліджень

Сівалки HORSCH Maestro розроблені для посіву просапних культур і продемонстрували оптимальну продуктивність при вирощуванні соняшнику, кукурудзи, сої, цукрових буряків, гороху та подібних культур (рис. 3.1) [12].



а



б

Рисунок 3.1. Сівалка точного висіву HORSCH Maestro (а – загальний вигляд; б – висівна секція)

Ця серія машин включає передові технології дозування, використовуючи окремі компактні пневматичні дозатори для кожної секції, а посівом керує електронна система посіву. Розподіл насіння і добрив полегшується

надлишковим тиском повітря, а точне внесення досягається завдяки розрідженню вакууму на дозуючому диску.

Вирішальним елементом, що впливає як на ефективність, так і на стабільність розміщення насіння, є мінімізація відцентрових сил, що діють на диск. Конструкція системи забезпечує підйом насіння по напрямній у періоди стабілізації тиску. Цей підйом відбувається за лінійною траєкторією, що забезпечує високу точність дозування, який контролюється в електронному вигляді. Крім того, ця машина сприяє економному використанню як насіннєвого матеріалу, так і добрив. Інтелектуальне програмне забезпечення виводить на екран терміналу дані із зазначенням пропусків і випадків подвійного внесення насіння у відсотках [13].

Складна конструкція та безліч компонентів, керованих електронною системою, вимагають значних інвестицій часу та ресурсів для вивчення структури та налагодження роботи сівалки. Використання сівалки для цієї мети виявляється вкрай непрактичним, оскільки вона громіздка і потребує інтеграції з трактором. Отже, за таких обставин два одиниці обладнання залишатимуться бездіяльними протягом тривалого періоду, не задіяні у виробничих завданнях. Тому ці налаштування та навчання доцільно проводити на лабораторному обладнанні (рис. 3.2), яке повторює функціональність сівалки, наприклад односекційної.

Дослідження проводили з використанням лабораторного стенду, створеного кафедрою автомобілів і тракторів Львівського НАУ, який слугував для встановлення параметрів первинних електричних сигналів електронної системи керування сівалкою [14]. Цей стенд працює від електромережі 13,6 В через протокол інтерфейсу ISOBUS, що полегшує зчитування сигналів та обмін даними між датчиками системи та польовим комп'ютером.

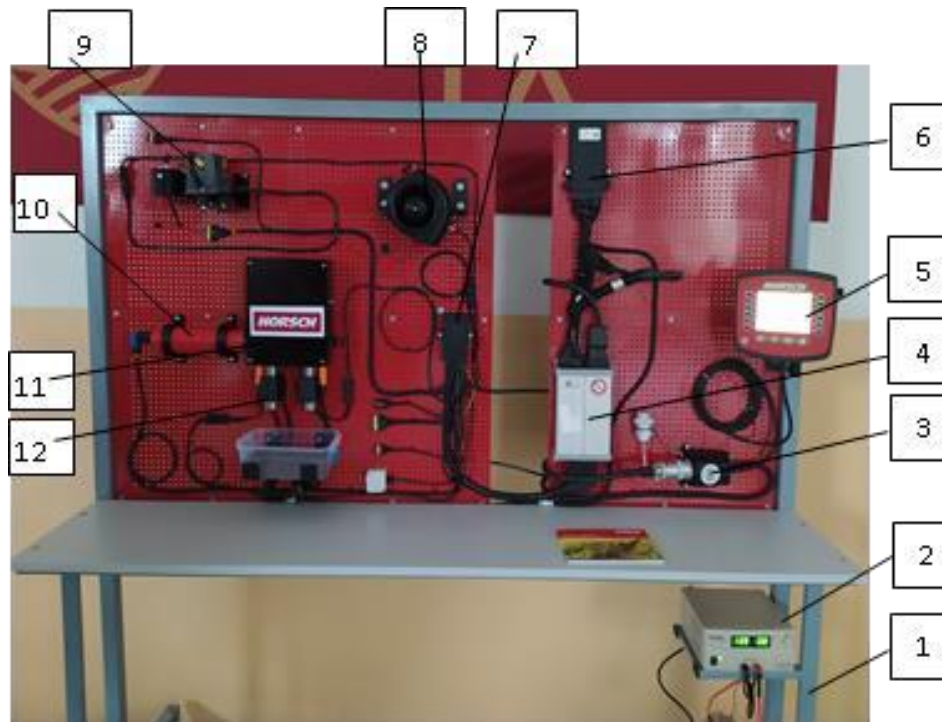


Рисунок 3.2 – Лабораторний стенд із інтегрованою ЕСУ сівалки точного висіву HORSCH

Інтеграція цієї сівалки з сумісними джерелами енергії стала можливою завдяки використанню протоколу передачі даних через інтерфейс ISOBUS, що дозволяє керувати обладнанням безпосередньо з терміналу трактора. Крім того, як електричним, так і гідравлічним приводом сівалки можна керувати з трактора. Робочий комп'ютер Midi 3.0 обробляє дані з доступних датчиків і виконує автоматичний контроль, надсилаючи команди виконавчим механізмам за потреби та відповідно регулюючи їхню продуктивність.

На екрані терміналу відображається стан системи поряд з програмним меню, яке містить кнопки для керування та активації режимів роботи [15]. Термінал використовується для керування роботою сівалок, демонструючи всі основні системи та вузли в своєму меню, а також забезпечуючи відображення параметрів системи в реальному часі (рис. 3.3). Після ввімкнення терміналу маски меню (сторінки) завантажуються послідовно, залежно від конфігурації машини та будь-яких додаткових інтегрованих систем. Система дозволяє програмувати

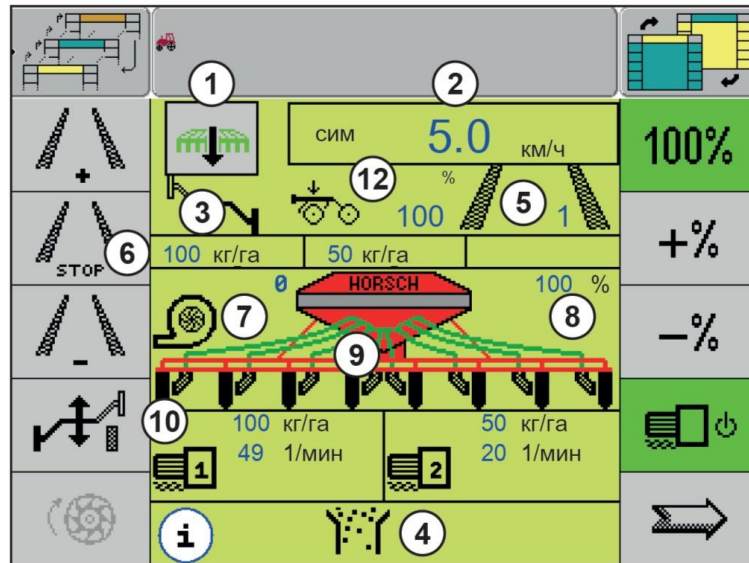
дисплеї кнопок, які часто використовуються під час роботи сівалки. Ці кнопки полегшують активацію або деактивацію функцій сівалки.

Тиск сошників можна збільшувати або зменшувати у відсотках відносно початкового налаштування залежно від типу ґрунту та кліматичних умов. Це налаштування полегшується за допомогою програмованих кнопок «+» або «-» на електричних регуляторах тиску сошників, при цьому вносяться зміни щодо базового значення 200 кг.

У програмному меню терміналу є можливість запустити дозатор добрив у ручному режимі на 5 секунд, що дозволяє вносити добрива в кути та необроблені ділянки поля.



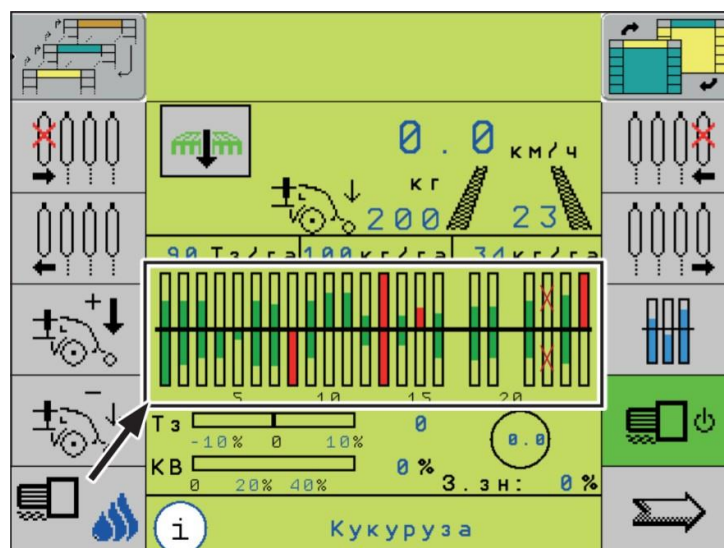
а



Меню термінала:

1. Індикація для робочого положення сівалки.
2. Індикація дійсної або заданої швидкості руху.
3. Вибір положення маркера колії.
4. Функція контролю подачі посівного матеріалу.
5. Номер технологічної колії, що відповідає номеру не активного посівного сошника.
6. Індикація вихідної кількості посівного матеріалу, або добрив в кг/га.
7. Індикація частоти обертання вентилятора нагнітача повітря.
8. Індикація в % дійсної норми висіву відносно заданої.
9. Робоче положення посівних сошників.
10. Відображення актуальних даних частоти обертання ротора дозатора.
11. Індикація площі в гектарах і відрізка в метрах, які можна обробити з поточним завантаженням бункера.
12. Регулятор тиску сошників (встановлений гідравлічний тиск прижиму сошників).

б



в

Рисунок 3.3. Термінал управління сівалкою: а – загальний вигляд; б – схема програмного меню управління сівалкою; в – інтерфейс, що відображає параметри рядків

Висівний механізм сівалки працює лише тоді, коли машина знаходиться в робочому положенні, а польовий комп'ютер отримує сигнал від датчика швидкості. На основі інформації, яку надає датчик швидкості, регулюється та регулюється частота обертання дозатора, що впливає на норму висіву (рис. 3.4).

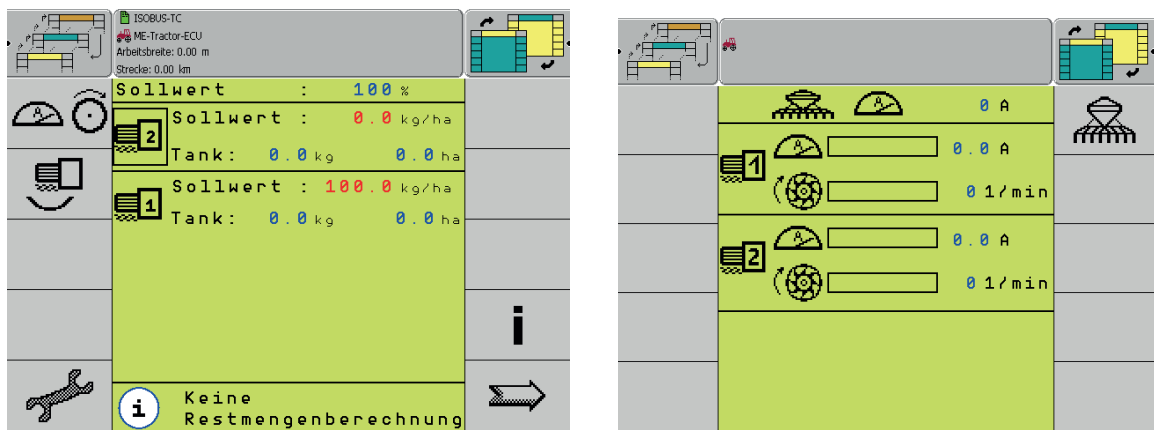
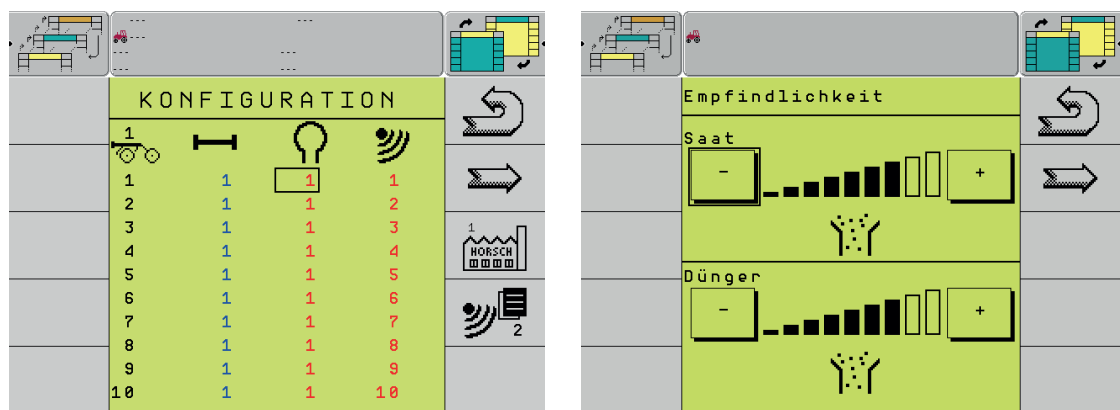
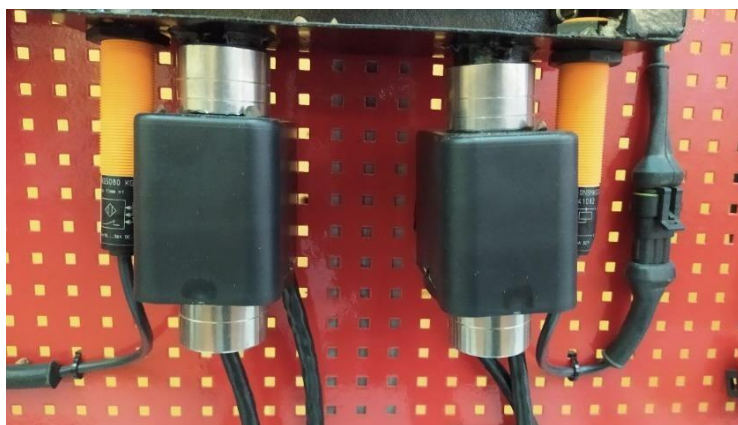


Рисунок 3.4. Інтерфейс із налаштуваннями обертів дозатора відповідно до норми внесення добрив

Перед початком сівби проводиться калібрування дозаторів і висівних апаратів відповідно до конкретної культури та норми внесення добрив (рис. 3.5). Цей процес калібрування проводиться кілька разів, щоб визначити похибку дозування.



а



б

Рисунок 3.5. Фрагмент дослідження сенсорів потоку висіву: а– інтерфейс;  
б - оптичні сенсори потоку

Початковий операційний інтерфейс термінального меню сівалки Maestro (рис. 3.6) представляє всі основні робочі параметри в реальному часі. Наведені цифри представляють основні параметри терміналу.

1 – Робочий або транспортний стан машини вказується кольором: жовтий означає, що машина піднята, а зелений означає, що вона знаходиться в робочому положенні.

2 – Поточна швидкість МТА базується на даних датчика.

3 – Відображення тиску сошника на рядки у відсотках.

4 – Індикація активних технологічних колій (в даному випадку висівні секції 17 і 20 деактивовані для встановлення технологічної колії).

5 – Зазначена норма висіву, виміряна в тисячах насінин на гектар для машин точного висіву.

6 – Встановлена норма внесення добрив, виражена в кілограмах на гектар. Індикатор стану рядка посіву.

7 – Параметри відповідного рядка розділу позначаються наступним чином: при активації певного рядка з'являється окреме меню. У цьому меню представлені характеристики процесу для кожного окремого рядка, які за потреби можна змінити. Він ілюструє якісні аспекти посіву, зокрема кількість внесеного

насіння та рівномірність його розподілу. Параметри кожного рядка представлені кольоровими смугами. Якщо індикатор знаходиться в центрі смужки, це означає, що посів виконується рівномірно. І навпаки, якщо індикатор зміщується до верхньої частини смужки, система сповіщає про введення двох зерен, які зазвичай називають «подвійними». Якщо індикатор опускається до нижньої частини смуги, система вказує на наявність проходу насіння. Коли відхилення від стандарту знаходяться в допустимих межах, індикатори відображаються зеленим кольором з відповідним розташуванням над або під смугою. Червоний колір індикатора означає відхилення від встановленої норми. [16].

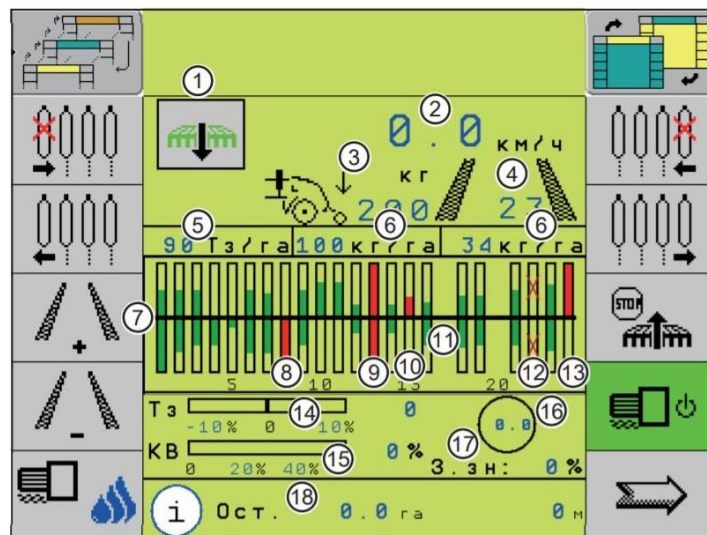


Рисунок 3.6. Інтерфейс, що містить параметри точного висіву просапних культур

Несправний дозатор 8-ї секції, що призводить до значної кількості дублювань або пропусків насіння. Натомість секції з 9 по 13 працюють без датчика контролю висіву насіння.

Секції з 10 по 15 демонструють значну кількість подвоєного насіння. У секціях 17 і 20, однак, немає насіння.

14 – Ця цифра відображає кількість посіяного насіння, виміряну в тисячах на гектар. Відхилення від встановленої норми у відсотках вказується в центрі смуги і може зміщуватися вліво або вправо в процесі роботи.

15 – Цей показник відображає щільність і однорідність розподілу насіння по довжині посівного ряду.

16 – поточне середнє відхилення від визначеної відстані між насінням по всіх секціях, виміряне з точністю до однієї секунди (рис. 3.7).

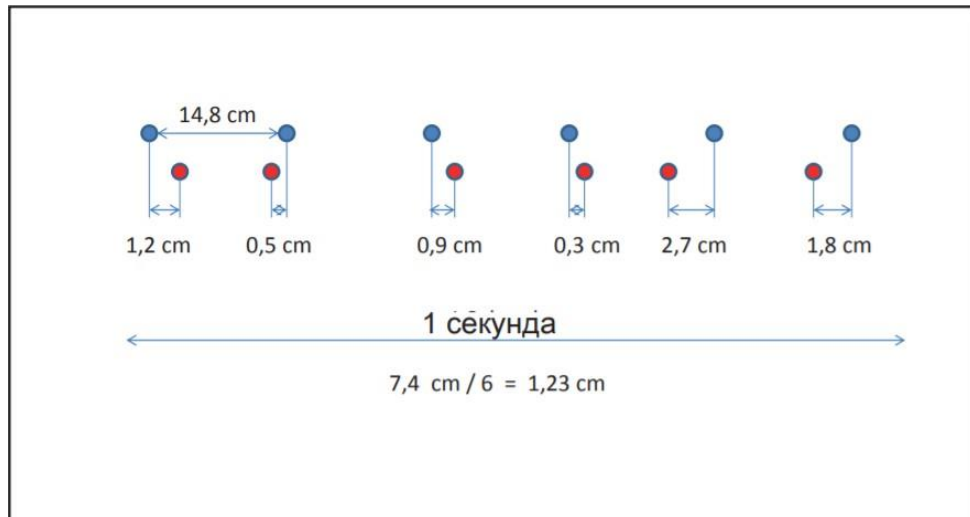


Рисунок 3.7. Середнє відхилення відстані між насінинами по рядках: синя лінія – встановлена норма; червона лінія – реальна відстань

17 – Загальний відсоток насіння, висадженого відповідно до вказівок щодо встановленого інтервалу.

18 – Залишки матеріалів, що зберігаються у бункерах.

### 3.2 Методика й обладнання для дослідження ЕСУ сівалки

Електронна система керування/управління (ЕСУ) сівалки демонструє високий ступінь складності як у її експлуатації, так і в обслуговуванні, оскільки вона взаємодіє з механічними та біологічними елементами в складних умовах. Окрім живлення приводів і механізмів, сівалка містить значну кількість мікропроцесорної технології та датчиків, які забезпечують безперервний зв'язок. Працюючи при низькій напрузі, електронні компоненти особливо сприйнятливі до перешкод і коливань навантаження, що може призвести до додаткового шуму, помилкових сигналів і неточних показань. Це може погіршити швидкість і рівномірність висіву в сівалках точного висіву. Коли на моніторі терміналу

з'являються інформаційні повідомлення та попередження щодо якості посіву, необхідно перевірити електричні ланцюги живлення та електронні мережі та інтерфейси, відповідальні за передачу інформаційних сигналів. Крім того, дуже важливо встановити зв'язок між несправностями електронної системи керування сівалкою та точністю посіву. Для оцінки цілісності електричних ланцюгів можна використовувати цифрові мультиметри. Цифрові осцилографи найбільше підходять для оцінки цілісності схеми та параметрів струму в діапазоні напруг від 0 до 12 В. Для діагностики сенсорної мережі рекомендується використовувати ці прилади, оскільки можна ефективно оцінити характеристики інформаційного сигналу. через їхню природу [17].

До первинних відмов, пов'язаних з електронною системою керування, відносяться наступні проблеми [18]:

- пошкодження електричних ланцюгів, втрата зв'язку та поява додаткових опорів;
- пошкодження, некоректна робота та спотворення інформаційного сигналу датчика.

Щоб імітувати несправність в електронній системі керування, були розроблені додаткові блоки опору та вбудовані в електричні схеми. Ці блоки повторюють втрату надійного контакту в з'єднаннях або вносять додаткове навантаження і споживання струму на виконавчих механізмів. Крім того, для полегшення вимірювань в електричних колах були встановлені спеціалізовані стандартизовані роз'єми (рис. 3.8).



Рисунок 3.8. Система імітації несправності ЕСУ сівалки

Під час моделювання відмови електронних компонентів у системі керування проводились вимірювання, щоб оцінити як заплановану, так і фактичну норми висіву, на додаток до оцінки рівномірності розподілу насіння.

### 3.3 Результати дослідження керуючих сигналів ЕСУ сівалки

Параметри керуючого сигналу аналізували за допомогою портативного персонального комп'ютера в поєднанні з цифровим осцилографом Hantek 1008B, а цілісність ланцюгів живлення оцінювали за допомогою цифрового мультиметра UNI-T UT61D. Датчики контролю висіву насіння об'єднані в мережу за допомогою 4-жильного кабелю зі знімними контактами, захищеними від вологи та пилу. Кожен датчик контролю висіву підключається паралельно та генерує унікальний ідентифікаційний код у системі (див. рис. 3.9). Живлення датчиків подається через два контакти (контакт «1» і контакт «4») при напрузі 12 В, а цифровий сигнал управління видається на контакт «2».

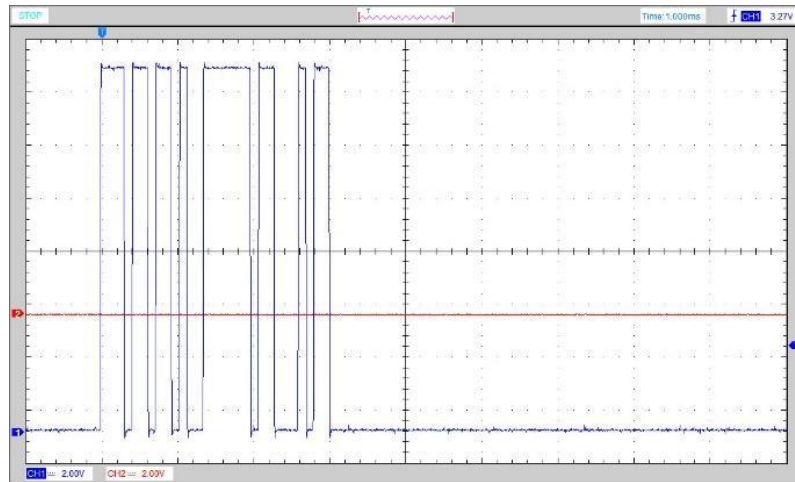


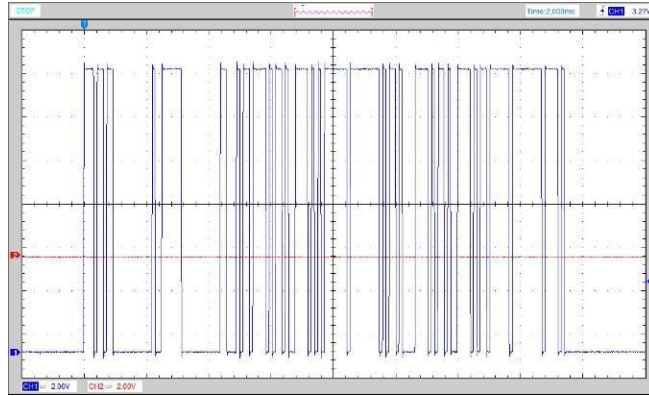
Рисунок 3.9. Створення керуючого сигналу сенсора контролю висіву (ідентифікація пристрою у системі без висіву)

Дослідження проводили за таких умов:

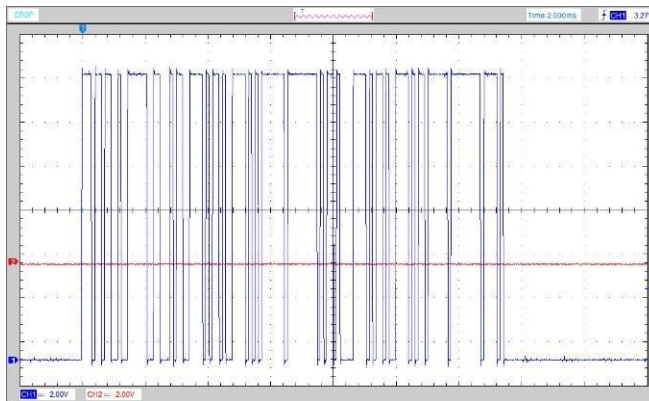
- насіння не висівали;
- насіння висіяно відповідно до зазначеної норми;
- насіння висівали за вказаною нормою при наявності в електричному колі

додакового опору 4 кОм. Як показано на малюнку 3.10 а, характеристика осцилограми керуючого сигналу, коли насіння не висівається, дуже нагадує осцилограму, яка створюється, коли насіння висівається відповідно до встановленої норми. Характеристика керуючого сигналу, зображена на осцилограмі (рис. 3.10 б), залишається практично незмінною, незалежно від того, чи проходить насіння чутливі елементи оптичного датчика висіву.

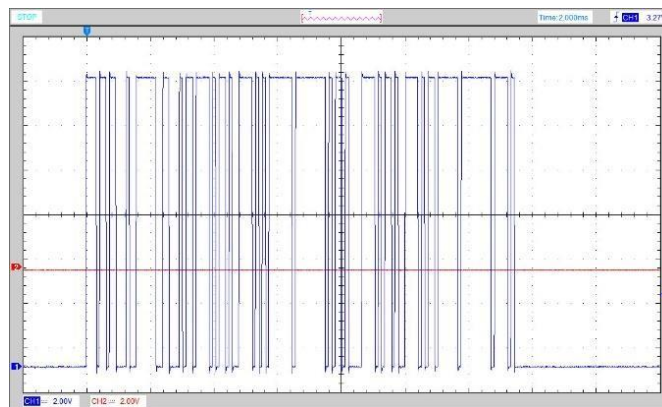
Форма осцилограми (рис. 3.10 с) демонструє значну зміну, коли насіння висівають відповідно до визначеної норми, зокрема, коли в ланцюг вводиться додатковий опір, наприклад, у результаті поганого контакту або окислення, прикладом якого є додатковий опір 4 кОм. Коли контрольний сигнал вимірюється на контакті 2 датчика висіву за наявності цього додаткового опору, на осцилограмі помітно збільшення шуму. Аналізуючи характеристики отриманої осцилограми, можна стверджувати, що сигнал стеження за потоком насіння може передаватися з певними неточностями через появу додаткового шуму [19].



а



б



в

Рисунок 3.10. Характеристика КС сенсора контролю висіву: а – без висіву; б - висів насіння відповідно до заданого значення; в - висів насіння відбувається відповідно до заданої норми при наявності додаткового опору електричного кола у 4 кОм

Система моніторингу висіву складається з мережі оптичних датчиків, розташованих на сошниках сівалки, і використовує протокол передачі даних

UART. У цій конфігурації контакти «2» і «3» роз'єму служать приймачем (RX) і передавачем (TX) цифрового сигналу [20]. Цей інтерфейс полегшує підключення значної кількості пристроїв за допомогою одного чотирижильного кабелю, два з яких призначені для передачі та прийому даних.

3.11 ілюструє атрибути інформаційного сигналу, отриманого під час перевірки датчика швидкості руху сівалки.

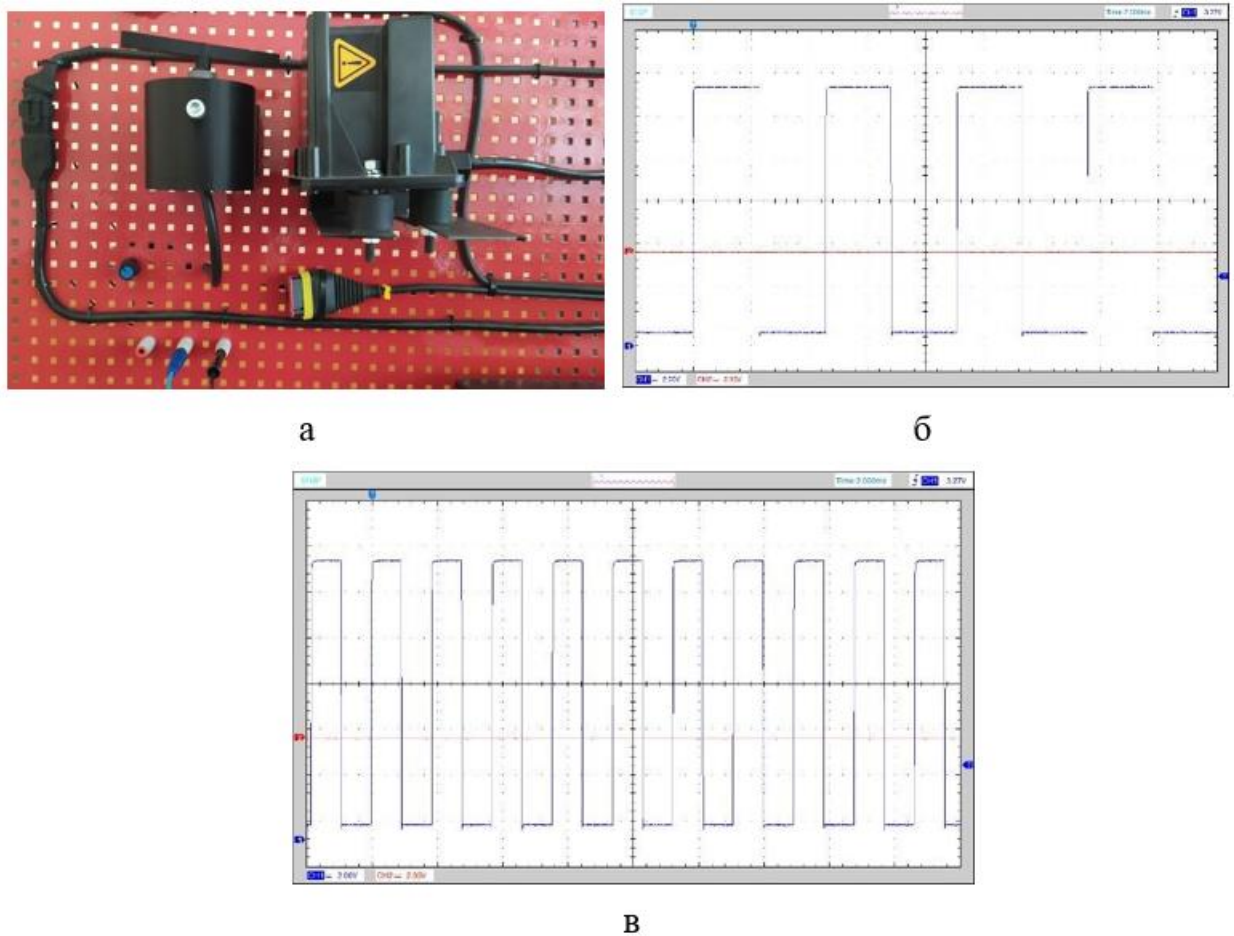


Рисунок 3.11. Характеристика КС сенсора швидкості руху: а – схема вимірювання; б – характеристики КС за швидкості 3 км/год; в – характеристика КС за швидкості 10 км/год

Осцилограми свідчать про те, що збільшення швидкості сівалки безпосередньо відповідає збільшенню частоти зміни інформаційного сигналу. В обох випадках рівень заповнюваності залишається на рівні 50%.

### 3.4 Результати оцінки похибки дозування при несправності компонентів ЕСУ сівалки

Для підвищення ефективності роботи сівалок точного висіву, зокрема при вирощуванні просапних культур з використанням високопродуктивних посівних комплексів, впроваджені системи керування висівом. Ці автоматичні системи управління забезпечують уявлення про хід технологічного процесу, а також ідентифікують і виправляють помилки та відхилення. Проте в процесі роботи виникають різні фактори, що впливають на процес посіву.

- забруднення та домішки, наявні в посівному матеріалі;
- вихід з ладу електронної системи керування сівалкою та її складових;
- неправильний підбір елементів всередині висівного пристрою;
- помилкові налаштування програмного забезпечення та вибір режиму роботи.

Через ці фактори часто виникають розбіжності між індикацією електронної системи керування та фактичними даними щодо висіву насіння. Отже, важливо перевіряти та контролювати однорідність та кількість висіяного насіння. Як правило, агрономічні та інженерні групи на підприємствах виконують статистичну оцінку сівалки. Параметри, що включає оцінку швидкості (відповідно датчику до фактичної швидкості), пройденої відстані, фактичної норми висіву для кожної секції, загальної кількості висіяного насіння, а також стабільності та рівномірності процесу висіву в рядку. Ефективність і якість систем управління, які використовуються в сівалки HORSCH Maestro, були оцінені під час стендових випробувань перед виконанням (рис. 3.12)

Вимірювання обов'язкове:

- відрегулюйте швидкість руху сівалки до 9 км/год (еквівалентно 2,5 м/с);



Рисунок 3.12. Налаштування дозатора насіння HORSCH Maestro під посів кукурудзи

- Виберіть відповідний тип дозувального диска залежно від культури, беручи до уваги тип культури, передбачувану вагу однієї тисячі насінин (MTN), а також розмір і форму насіння.

- Визначте артикул дозувального диска, що відповідає конкретному посівному матеріалу; у цьому випадку це № 24018931. Обов'язково використовуйте диск із меншими отворами чи прорізами, вибираючи з ряду ідентичних дисків.

- Насінневий матеріал: кукурудза;
- Критерій відбору – маса тисячі насінин;
- Диск дозуючий, артикул 24018931;
- клапан впускний №3;
- Розрідження вимірюється при 65-85 мбар;

- Розсувний міст, позначений як "А"; - Внутрішній скребок, позначений як "А"; - На зовнішньому скребку є одна виїмка. Дані випробувань можна знайти в таблиці 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 <sup>2</sup>	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

Сівалка пройшла випробування в заданих умовах: схожість насіння 95%, лабораторна чистота 98,9%, густина 9 рослин на квадратний метр, 7,4 насінини на погонний метр. Як показано в таблиці 3.1, параметри для посіву можуть змінюватися залежно від робочого стану компонентів електронної системи керування. Наприклад, введення додаткового опорного навантаження може призвести до зниження рівномірності висіву до 12,4%, тоді як корекція висіву може коливатися в межах 4,5%.

### ***Висновки***

1. Сівалки HORSCH Maestro представляють собою високопродуктивне прецизійне обладнання, призначене для пневматичного розподілу насіння та добрив. Ці сівалки використовують вакуумний збір насіння в поєднанні з дозуючими дисками для забезпечення точного дозування поштучно. Крім того, для управління робочими процесами в такому обладнанні зазвичай використовуються електронні системи керування.

2. Термінал сівалки Maestro представляє робоче меню, яке демонструє всі критичні параметри системи в режимі реального часу. До основних ознак цього відображення відносяться кількість висіяного насіння та відхилення від встановленої норми.

3. Дослідження параметрів керуючого сигналу проводили за допомогою портативного персонального комп'ютера в поєднанні з цифровим осцилографом Nantek 1008V, а цілісність ланцюгів живлення – за допомогою цифрового мультиметра UNI-T UT61D. Досліджено працездатність датчиків контролю висіву, що живляться через контакти «1» і «4» напругою 12 В. Додатково на контакті «2» формується цифровий сигнал управління. Вводиться моделювання додаткового опору 4 кОм в електричному ланцюзі (наприклад, через поганий контакт або окислення), що призводить до генерації додаткового шуму на осцилограмі. Отже, це призводить до потенційних помилок у сигналі стеження для потоку насіння.

4. Сівалка пройшла випробування в заданих умовах: схожість насіння 95 %, лабораторна чистота 98,9 %, щільність 9 рослин на квадратний метр, в середньому 7,4 насінини на погонний метр. Отримані дані вказують на те, що параметри висіву можуть коливатися залежно від робочого стану компонентів електронної системи керування. Наприклад, введення додаткового опорного навантаження може призвести до зниження рівномірності висіву до 12,4%, а поправка на висів може змінюватися на  $\pm 4,5\%$ .

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Організація безпечної роботи під час виконання сільськогосподарських операцій є однією з ключових умов забезпечення ефективного виробництва та захисту працівників від травматизму. Робота з сільськогосподарськими агрегатами, зокрема під час операцій сівби, пов'язана з низкою потенційних небезпек, які можуть призвести до травм, пошкоджень обладнання або навіть летальних випадків. Для того, щоб мінімізувати ризики, необхідно дотримуватися відповідних заходів безпеки та вживати превентивних дій щодо охорони праці.

Основні небезпеки під час роботи з агрегатами

1. Механічні травми. Під час роботи з тракторами та посівними агрегатами існує ризик отримання травм від рухомих частин техніки, таких як вал відбору потужності, висіваючі апарати, ножі, валики тощо. Порушення правил експлуатації та недотримання безпечної дистанції від рухомих механізмів можуть призвести до затягування одягу або кінцівок у працюючі частини агрегату.

2. Електротравми. Більшість сучасних агрегатів обладнані електронними системами управління. Недбале поводження з електричними компонентами, несправна ізоляція або контакти можуть призвести до ураження електричним струмом.

3. Шум і вібрація. Тривала робота з тракторами та іншими агрегатами створює підвищений рівень шуму та вібрації, що негативно впливає на органи слуху та нервову систему працівників. Це може викликати втому, зниження концентрації, що підвищує ймовірність помилок і травм.

4. Випаровування та пил. Робота на відкритих полях або в умовах застосування хімічних речовин (добрив, пестицидів) може супроводжуватися утворенням пилу та випаровувань, що негативно впливає на органи дихання та

зір. Тривалий контакт з агресивними речовинами або пилом може спричинити алергічні реакції, респіраторні захворювання та подразнення шкіри.

5. Перевантаження та неправильна експлуатація техніки. Недостатня кваліфікація працівників або недотримання правил експлуатації техніки може призвести до поломок, аварій або перекидання техніки, що становить значну загрозу для життя і здоров'я працівників.

#### Способи запобігання небезпечним ситуаціям

1. Проведення інструктажу з техніки безпеки. Перед початком роботи всі працівники мають проходити обов'язковий інструктаж з охорони праці, який охоплює специфіку роботи з сільськогосподарськими агрегатами, правила поведіння з небезпечними речовинами, надання першої допомоги в разі нещасного випадку.

2. Використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ). Працівники повинні забезпечуватися спеціальним одягом, який не має відкритих елементів, здатних зачепитися за рухомі частини агрегатів. До ЗІЗ також належать рукавички, захисні окуляри, навушники для захисту від шуму, респіратори при роботі з пилом або хімічними речовинами.

3. Регулярний технічний огляд обладнання. Перед початком роботи необхідно перевіряти справність обладнання, зокрема рухомих частин, електричних систем та робочих механізмів. Своєчасна діагностика та ремонт допоможуть уникнути поломок і знизити ймовірність виникнення аварійних ситуацій.

4. Контроль за станом здоров'я працівників. Регулярні медичні огляди є необхідними для виявлення можливих захворювань, які можуть загостритися внаслідок впливу небезпечних факторів, таких як вібрація, пил або шум.

5. Організація робочого часу. Робота з агрегатами повинна виконуватися з дотриманням нормованих робочих змін, щоб уникнути перевтоми. Тривала

робота без перерв може призвести до зниження концентрації уваги, що підвищує ризик травматизму.

6. Розробка аварійних планів та навчання персоналу. Важливо мати розроблені чіткі інструкції на випадок аварійних ситуацій, а також регулярно проводити навчання з евакуації та надання першої медичної допомоги.

Забезпечення належного рівня охорони праці є невід'ємною частиною ефективного використання технологій точного землеробства. Тільки за умови дотримання усіх необхідних заходів безпеки можна досягти високої продуктивності праці та зберегти здоров'я працівників.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Основним критерієм оцінки розробки та впровадження нового технологічного обладнання, а також удосконалення існуючих технологій є обґрунтування його економічної ефективності. Практичність впровадження вдосконаленого обладнання можна оцінити за допомогою різних показників, які охоплюють: зменшення виробничих витрат, зменшення витрат на оплату праці, річну економічну вигоду, річну економію як прямих, так і непрямих витрат, а також зменшення капітальних інвестицій.

Впровадження нових технологій і обладнання вимагає капітальних вкладень для їх освоєння, які згодом окупаються підвищенням техніко-економічних показників при їх використанні. На практиці розрізняють розрахункову та фактичну ефективність: перша встановлюється на етапі розрахунку, а друга оцінюється за результатами виробничих випробувань. Наслідки впровадження можна класифікувати на прямі та непрямі вигоди. Пряма економічна ефективність охоплює скорочення матеріальних і трудових ресурсів, а також фінансових витрат за рахунок підвищення продуктивності технологічного обладнання, зниження питомих енерговитрат на одиницю продукції, зниження витрат на оплату праці, а також витрат як на основні, так і на допоміжні матеріали. Крім того, визнається непряма ефективність, яка виникає внаслідок підвищення культури праці та продуктивності.

Оцінка економічної ефективності, пов'язаної з удосконаленим дозатором, була проведена шляхом порівняння витрат, пов'язаних із процесом посіву насіння кукурудзи з використанням сівалки HORSCH Maestro разом із вдосконаленою технікою діагностики. Оцінку техніко-економічних показників проводили відповідно до стандартизованої методики оцінки економічної ефективності використання обладнання. Цей аналіз мав на меті розрахувати економічну

ефективність сівалки HORSCH Maestro шляхом застосування передових методів діагностики.

Оцінку техніко-економічних показників сівалки проводили за методикою розрахунку питомої економічної ефективності кілограма утилізованої продукції. Річний економічний ефект, отриманий від впровадження розширеної методології, визначається за таким виразом:

$$\dot{A}_d = ((C_{\zeta}^i - C_{\zeta}^j) + (\tilde{A}_{i.d.t} - \tilde{A}_{i.l.t})) \cdot D_i, \text{ грн}, \quad (5.1)$$

При цьому прямі експлуатаційні витрати об'єкта визначаються за формулою:

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

Витрати, пов'язані з оплатою праці працівників, такі:

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

Витрати, пов'язані з електроенергією:

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

Зниження витрат на реконструкцію обладнання:

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

Відрахування за Т.О. і ремонт наступний:

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

Загальні капіталовкладення, необхідні для впровадження технології розширеної діагностики  $K_{\text{кап.вкл.}}$  (грн./кг), визначаються:

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

Загальні сукупні витрати на одиницю продукції становлять  $Z_3$  (грн/кг):

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

Розрахунок зменшення прямих операційних витрат за фінансовий рік  $E_{\text{екс.витр}}$  визначається за такою формулою:

$$E_{\text{екс.витр}} = (Z_3^b - Z_3^n) \cdot T_p, \text{ грн,} \quad (5,9)$$

Основні дані, які використовуються для оцінки економічної ефективності впровадження запропонованої технології діагностики, отримані з інформації, наданої заводами-виробниками. Вартість електроенергії та погодинну оплату праці працівників встановлено на основі статистичних даних станом на 2024 рік.

Таблиця 5.1. Результати розрахунку економічної ефективності

Показники	Машина	
	HORSCH Maestro 24	HORSCH Maestro SW+ удосконалена методика 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

### ***Висновки***

Аналізуючи таблицю 5.1, видно, що сівалка HORSCH Maestro SW демонструє покращену рівномірність висіву насіння за умови підтримки за допомогою розширеного методу діагностики. Варіабельність показника рівномірності посіву може сягати до 14%, а економічна вигода від економії витратних матеріалів разом із підвищенням урожайності та якості продукції становить 90 грн./га. Річна економічна вигода в основному реалізується за рахунок збереження насіннєвого матеріалу на загальну суму близько 1 510 336,80 грн.

## ВИСНОВКИ

1. Основними методами збереження та омолодження родючості ґрунту є застосування у сільськогосподарському виробництві технологій No-Till та смугового обробітку ґрунту.

2. Для посіву насіння використовують універсальні, спеціальні та комбіновані сівалки, які можна розділити на три види: моноблочні, окремо-агрегатні та секційні. За типом агрегування ці сівалки поділяються на причіпні та навісні, а за способом подачі насіння – на механічні та пневматичні. Активна інтеграція та розвиток цифрових технологій у сільськогосподарській техніці значно підвищує ефективність сівалок, дозволяючи використовувати автоматизовані електронні системи керування, програмне забезпечення для керування, інструменти звітності та системи супутникової навігації для точного землеробства відповідно до ініціатив «Сільське господарство 4.0».

3. Сівалки HORSCH Maestro представляють собою високопродуктивну техніку точного висіву, яка використовує пневматичну систему для розподілу насіння та добрив. Щоб забезпечити точне індивідуальне дозування під час посіву, ці машини використовують вакуумний збір насіння в поєднанні з дозуючими дисками. Крім того, електронні системи управління та механізми моніторингу робочих процесів зазвичай інтегровані в цей тип машин.

4. Дослідження параметрів керуючого сигналу проводили за допомогою портативного персонального комп'ютера разом із цифровим осцилографом Nantek 1008V, а цілісність ланцюгів живлення оцінювали за допомогою цифрового мультиметра UNI-T UT61D. Досліджено працездатність датчиків контролю висіву, які живляться від двох контактів (контакт «1» і контакт «4») напругою 12 В. На контакт «2» виробляється цифровий сигнал управління. Крім того, в електричний ланцюг був введений імітований опір 4 кОм (наприклад, через поганий контакт або окислення), що призвело до генерації сторонніх шумів

на осцилограмі. Отже, це призводить до потенційних помилок у сигналі стеження для потоку насіння.

5. Сівалка пройшла випробування в певних умовах: схожість насіння 95%, лабораторна чистота 98,9%, щільність 9 рослин на квадратний метр, в середньому 7,4 насінини на погонний метр. Отримані дані вказують на те, що параметри висіву можуть коливатися в залежності від робочого стану компонентів електронної системи керування. Наприклад, введення додаткового опорного навантаження може призвести до зниження рівномірності висіву до 12,4 %, а поправка на висів може коливатися в межах  $\pm 4,5$  %.

6. Застосування передових методів діагностики під час обслуговування сівалки HORSCH Maestro SW підвищує рівномірність посіву насіння. При цьому мінливість показника рівномірності висіву може досягати 14%. Економічна вигода від збереження витратних матеріалів разом із підвищенням урожайності та якості виробленої продукції становить 90 грн./га. Враховуючи, головним чином, скорочення використання насіннєвого матеріалу, щорічний економічний ефект становитиме приблизно 1 510 336,80 гривень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Барабаш, Р. І. (2021). *Обґрунтування виробничої структури пунктів технічного обслуговування тракторів ХТЗ* (Doctoral dissertation, Львівський національний аграрний університет).
2. Труханська, О. О. (2020). Підвищення якості ремонту і технічного обслуговування сільськогосподарської техніки. *Техніка, енергетика, транспорт АПК.-Вінниця, 2018.-№ 3 (102)-С. 52-61.*
3. Борисюк, Д. В., & Зелінський, В. Й. (2017). Методика розрахунку економічної ефективності впровадження технічного діагностування тракторів. *Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики, (5), 135-142.*
4. Грицаєнко, Г. І., & Грицаєнко, І. М. (2020). РОЗВИТОК АГРАРНОГО ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ ТА РИНКУ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ТЕХНІКИ УКРАЇНИ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 105.*
5. Аулін, В. В., & Замота, О. М. (2017). *Економічна ефективність системи технічного обслуговування і ремонту мобільної сільськогосподарської та автотранспортної техніки з елементами прогнозування* (Doctoral dissertation, ТНТУ).
6. Устюянов, П. Д., Домуші, Д. П., Супрунюк, В. П., & Гуславський, А. В. (2022). ОСНОВНІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРАЦЕЗДАТНОГО СТАНУ ТЕХНІКИ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *науково-практичної конференції науково-педагогічних працівників та, 309.*
7. Лесюк, В. С., & Калініченко, О. В. (2020). ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКУ АГРАРНИХ ПІДПРИЄМСТВ. *Редакційна колегія: ОГ Бондар, доктор юридичних наук, професор, 274.*

8. Адамчук, В., Камінський, В., Булгаков, В., & Надикто, В. (2022). Теоретичне дослідження та розроблення нового показника інтенсивності впливу ходових систем машинно-тракторних агрегатів на ґрунт. *Вісник аграрної науки*, 100(4), 57-63.

9. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Троханяк, О., & Чорна, Т. (2023). Теоретичне дослідження стійкості руху асиметричного посівного машинно-тракторного агрегату. *Вісник аграрної науки*, 101(5), 57-64.

10. Товстенко, В. (2021). Удосконалення технічного обслуговування та ремонту машинно-тракторного парку в майстерні фермерського господарства «Славутич» Веселівського району Запорізької області: пояснювальна записка до дипломної роботи здобувача СВО Бакалавр.

11. Домуші, Д. П., Яковенко, А. М., Осадчук, П. І., Ліпін, А. П., Житков, С. С., & Павлішин, П. М. (2020). РЕМОНТ ТРАКТОРІВ І АВТОМОБІЛІВ: навч. посібн.: у 2-х кн.–Кн. 1.

12. Іванов, Б. О., & Тітова, Л. Л. (2022). СТАН СИСТЕМИ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР, ЩО ЗАБЕЗПЕЧУЄ НАДІЙНІСТЬ ЙОГО ФУНКЦІОНУВАННЯ. *Збірник тез доповідей I Міжнародної науково-практичної конференції «HSEAgro–2022». 8-9 лютого 2022 року. МОН України, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Науково-виробничий журнал «Промислова безпека», Державна служба України з питань праці. Київ. 2022. 186 с., 119.*

13. Василенко, М. О., Шаповал, Л. І., & Соколенко, О. М. (2017). Обґрунтування строків проведення ремонтно-обслуговуючих робіт мобільної сільськогосподарської техніки з використанням стратегії адаптивного технічного обслуговування і ремонту. *Механізація та електрифікація сільського господарства. Глеваха*, 245-255.

14. Галич, І. В. (2019). Аналіз джерел вібрацій та коливань елементів машинно-тракторного агрегату. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, (30), 72-79.

15. Антощенко, Р. В., & Антощенко, В. М. (2016). Дослідження енергетичних параметрів функціонування багатоелементних машинно-тракторних агрегатів. *Інженерія природокористування*, (2), 105-112.

16. Сіренко, Ю. В., & Сілюченко, В. М. (2022). ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕМАТИКИ МАШИНО-ТРАКТОРНИХ АГРЕГАТІВ. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції (Запоріжжя, 01-25 листопада 2022 р.)/ТДАТУ: ред. кол., СВ Кюрчев, ВМ Кюрчев, ВТ Надикто, ОГ Скляр [та ін.]– Запоріжжя: ТДАТУ, 2022.–239 с. У збірнику представлені матеріали міжнародної науково-практичної, 56.*

17. Антощенко, Р. В., Лебедєв, А. Т., & Антощенко, В. М. (2017). Керування енергетичними витратами машинно-тракторного агрегата. *Науковий журнал «Технічний сервіс агропромислового лісового та транспортного комплексів»*, (7), 172-179.

18. Адамчук, В., Булгаков, В., Надикто, В., Кюрчев, В., & Камінський, В. (2022). Дослідження впливу ширини захвату машинно-тракторного агрегату на його експлуатаційні показники. *Вісник аграрної науки*, 100(10), 29-36.

19. Dnes, V., Kudrynetskyi, R., & Skibchyk, V. (2020). Методичні засади визначення ефективності використання техніки під час обробітку ґрунту, внесення добрив і сівби ярих культур за енергетичним показником. *Bulletin of Lviv National Environmental University. Agroengineering Research*, (24), 77-82.

20. Бакляк, І. В. (2021). ПЛАНОВО-ЗАПОБІЖНА СИСТЕМА ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ МАШИН. *Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі*, 465.

## ДОДАТКИ

Додаток А