

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра агроінжинірингу

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри

Шуляк М.Л.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження ефективності використання систем точного землеробства при внесенні мінеральних добрив»

Виконав:

_____ (підпис)

Любовий А.В.

_____ (Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2302-2м

(Науковий) керівник:

_____ (підпис)

Зубко В.М.

_____ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 40 сторінках машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 2 таблиці, 6 рисунків, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: МІНЕРАЛЬНІ ДОБРИВА, ЯКІСТЬ ВНЕСЕННЯ, НОРМА ВНЕСЕННЯ, ФОСФОРНІ ДОБРИВА, ТЕХНОЛОГІЯ ЗМІННИХ НОРМ.

Об'єктом дослідження є технологічний процес внесення гранульованого фосфату посівною машиною обладнаною датчиком VIS–NIR для вимірювання рівня вмісту фосфору P у ґрунті.

Метою роботи є проведення оптимізації положення датчика ґрунту «на ходу», встановленого на системі внесення гранульованих добрив зі змінною нормою (VR). Оптимізацію проводили шляхом вимірювання часу затримки між отриманням інформації про вміст фосфору в ґрунті (P) від датчика ґрунту та зміною норми внесення добрив у системі внесення добрив.

Система з датчика ґрунту, з'єданого зі спектрофотометром Ziess (волокно CORONA VISNIR 1.7). Аплікатором була чотирирядна сівалка-аплікатор AMAZONE (ED302). Загальний час затримки складався з серії проміжних часів затримки, які склалися з часу, необхідного для збору спектрів ґрунту, компіляції даних, зміни норми внесення добрив і часу проходження гранул від пристроїв дозування добрив до сошників.

ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання і задачі досліджень.....	7
1.1 Агротехнічні вимоги до внесення добрив при посіві	7
1.2 Сенсорні технології варіабельного внесення добрив	10
1.3 Внесення змінних норм добрив на основі даних спектрофотометра VIS-NIR.....	19
2 Технічне забезпечення та методика дослідження	25
2.1 Спектрофотометр і мобільний датчик ґрунту	25
2.2 Аплікатор добрив	26
2.3 Час затримки	27
2.4 Час затримки механічного налаштування для зміни норми	27
2.5. Час затримки випадання добрива в статичних умовах вимірювання.....	28
2.6. Час затримки випадіння добрива за умови динамічного вимірювання.....	29
3 Результати досліджень та їх аналіз	30
3.1 Час затримки для сканування ґрунту та обробки даних.....	30
3.2 Час затримки механічного налаштування для зміни норми.....	32
3.3. Час затримки внесення добрив	33
3.4. Визначення положення датчика відповідно до загального часу затримки.....	34
Висновки.....	36
Список використаних джерел.....	37

ВСТУП

Застосування диференційованих способів внесення добрив дозволяє раціонально використовувати дорогі мінеральні добрива, що в порівнянні з традиційним фоновим методом економить значні кошти.

Інвестиції у деякі елементи точного землеробства повертаються вже протягом першого маркетингового року. Наприклад, технологія змінних норм висіву і автоматичного відключення секцій дозволяє здійснювати посів з автоматично-керованими змінними нормами висіву насіння в межах неоднорідних ділянок поля. Це дає можливість досягти оптимальної густоти стояння рослин на різних за властивостями частинах поля, а також ефективно використовувати ресурси та потенціал кожної ділянки поля, зокрема, різні запаси елементів живлення, продуктивної вологи, розподіл світла тощо.

Досвід застосування технології змінних норм висіву насіння в Україні свідчить, що приріст врожаю з поля сягає у середньому до 10% і вище в порівнянні з використанням однієї норми висіву. Застосування технології автоматичного відключення секцій під час посіву кукурудзи дає можливість уникнути перекрыттів і перевищення густоти рослин та дозволяє заощаджувати від 3 до 8% насіння.

Технологія диференційованого внесення добрив дозволяє оптимізувати використання ресурсів до 40%, а в деяких випадках і більше. Навіть перший, найпростіший крок до точного землеробства, який не потребує значних витрат — аналіз ґрунту і картографування його властивостей, дає можливість оптимізувати використання ресурсів і підвищити ефективність технології до 20% і вище.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Агротехнічні вимоги до внесення добрив при посіві

У сучасному сільському господарстві ефективне застосування добрив під час посіву має вирішальне значення для досягнення оптимального росту врожаю, максимізації потенціалу врожайності та покращення стану ґрунту. Агротехнічні вимоги до внесення добрив охоплюють різноманітні практики та вказівки, спрямовані на узгодження наявності поживних речовин із потребами рослин на ранніх стадіях росту. Ці вимоги зосереджені на типі добрив, які використовуються, методах внесення, термінах, дозуванні та екологічних міркуваннях, усі з яких адаптовані до конкретних культур, типів ґрунтів і кліматичних умов. Правильні методи внесення не тільки покращують поглинання поживних речовин, але й мінімізують втрати через вимивання або випаровування, сприяючи стійкій сільськогосподарській практиці.

Одним з основних аспектів внесення добрив під час посіву є вибір відповідних добрив. На це рішення часто впливають потреби цільової культури в поживних речовинах і профіль поживних речовин у ґрунті. Основні поживні речовини, зокрема азот (N), фосфор (P) і калій (K), відіграють важливу роль у ранньому розвитку коренів і пагонів. Фосфор, наприклад, необхідний для росту коренів, а азот сприяє швидкому вегетативному росту. Тому для більшості культур рекомендується використовувати стартові добрива зі збалансованим співвідношенням N-P-K. Крім того, певні мікроелементи, такі як цинк, марганець і бор, можуть знадобитися для оптимального росту розсади, і їх можна включати в початкові суміші добрив.

Також слід враховувати сумісність різних типів добрив, щоб запобігти несприятливим хімічним реакціям, таким як утворення нерозчинних сполук, які можуть зменшити доступність поживних речовин. Наприклад, добрива на основі амонію можуть викликати локальне підкислення ґрунту, що може вплинути на ріст коренів розсади. Щоб уникнути цих проблем, необхідно ретельно змішувати добрива, причому бажано використовувати гранульовані

або вкриті добрива для рівномірного вивільнення поживних речовин з часом. Добрива підвищеної ефективності, такі як продукти з контрольованим вивільненням або продукти з полімерним покриттям, набули популярності завдяки своїй здатності синхронізувати доступність поживних речовин із потребами рослин, тим самим зменшуючи втрати поживних речовин і підвищуючи ефективність внесення.

Визначальним для внесення добрив під час посіву є час. Наявність поживних речовин на початкових стадіях росту має важливе значення для міцного приживлення розсади. Оскільки на цій стадії рослини мають обмежену кореневу систему, розміщення добрив у безпосередній близькості від насіння забезпечує ефективне поглинання та мінімізує втрати. Смуги, коли добрива вносяться в ряди близько до насіння, але не в прямому контакті, є поширеним методом, який запобігає опіку насіння, забезпечуючи при цьому доступ до поживних речовин. Цей метод особливо ефективний для фосфору, який має обмежену рухливість у ґрунті.

Однак внесення багатих на азот добрив безпосередньо з насінням може загрожувати пошкодженням сходів через токсичність аміаку, особливо на сухих ґрунтах. Тому рекомендації зазвичай рекомендують вносити азотні добрива трохи подалі від насіння. Вимоги до відстані відрізняються залежно від культури, причому деякі зернові культури витримують ближче внесення азоту, ніж бобові або чутливі овочеві культури. Методи внесення добрив, такі як сівба або ін'єкційне розміщення, можуть забезпечити точне розміщення добрив, підвищуючи ефективність поглинання. Внесення чутливих до часу добрив, наприклад тих, що містять сечовину або нітрат амонію, можна відкласти до закінчення посіву, щоб запобігти пошкодженню насіння та оптимізувати доступність азоту протягом критичного раннього періоду росту.

Ще однією важливою агротехнічною вимогою є визначення правильного дозування добрив. Розрахунок дозування базується на потребах рослин у поживних речовинах, очікуваному врожаї, стані родючості ґрунту та факторах навколишнього середовища. Надмірне внесення створює ризик вимивання

поживних речовин у водойми, сприяючи евтрофікації, тоді як недостатнє внесення може обмежити ріст культур. Випробування ґрунту є важливим інструментом для оцінки наявних рівнів поживних речовин і відповідного коригування доз добрив. Розуміючи родючість ґрунту, фермери можуть застосовувати лише те, що необхідно для задоволення потреб урожаю, сприяючи ефективному використанню ресурсів і мінімізуючи вплив на навколишнє середовище.

Інтегроване управління родючістю ґрунту (ISFM) поєднує органічні та неорганічні добрива для покращення здоров'я ґрунту та підтримки продуктивності. Органічні добавки, такі як компост, гній і зелене добриво, додають органічні речовини, покращують структуру ґрунту та підтримують активність мікробів, роблячи поживні речовини більш доступними для рослин. Внесення органічних добрив під час посіву може зменшити кількість необхідних синтетичних добрив, оскільки органічні добавки поступово вивільняють поживні речовини, доповнюючи негайну доступність неорганічних джерел. Крім того, ISFM зменшує залежність від синтетичних добрив і підтримує сталість виробництва, оскільки органічні добавки підвищують стійкість ґрунту проти ерозії та ущільнення.

Технологічні інновації, такі як точне землеробство та технологія змінної норми (VRT), змінюють внесення добрив під час посіву. Точне землеробство використовує датчики ґрунту, GPS-карти та аналітику даних, щоб керувати внесенням добрив із змінними нормами, оптимізуючи використання вхідних ресурсів на основі мінливості поживних речовин у ґрунті. Обладнання VRT може регулювати норму внесення в режимі реального часу, узгоджуючи подачу поживних речовин з конкретними потребами кожної ділянки в межах поля. Цей цілеспрямований підхід зводить до мінімуму надмірне внесення добрив у багатих поживними речовинами зонах і забезпечує адекватне підживлення в дефіцитних областях, зменшуючи витрати на введення та вплив на навколишнє середовище. Крім того, вдосконалена техніка для одночасного посіву та

внесення добрив забезпечує дуже точне розміщення насіння та добрив, покращуючи приживлюваність урожаю та ранній ріст.

Безпілотники та супутникові зображення також стають популярними інструментами для моніторингу росту врожаю, оцінки дефіциту поживних речовин і внесення добрив у сезон. Ці технології пропонують динамічний підхід до управління поживними речовинами, дозволяючи фермерам вчасно вносити корективи на основі продуктивності врожаю та умов навколишнього середовища. Інтегруючи ці інструменти, фермери можуть застосовувати добрива більш зважено, підвищувати врожайність і зменшувати ризик втрати поживних речовин через вимивання або випаровування, сприяючи подальшому розвитку сталого сільського господарства.

Застосування добрив під час посіву – це складна, добре керована практика, яка поєднує традиційні агрономічні принципи з сучасними технологіями для ефективного та сталого задоволення потреб сільськогосподарських культур у поживних речовинах. Дотримуючись агротехнічних вимог — вибираючи відповідні добрива, оптимізуючи терміни внесення та розміщення, точне дозування поживних речовин і впроваджуючи точні технології — фермери можуть максимізувати врожайність, зберігаючи здоров'я ґрунту та навколишнього середовища. Інтеграція органічних і неорганічних добрив, методів точного землеробства та прийняття рішень на основі даних є ключовими для досягнення подвійних цілей сталого рослинництва та охорони навколишнього середовища. Ці методи є не тільки важливими для короткострокової продуктивності, але й мають вирішальне значення для підтримки довгострокової родючості ґрунту та забезпечення продовольчої безпеки.

1.2 Сенсорні технології варіабельного внесення добрив

Основна мета впровадження точного землеробства – економія ресурсів: насіння, добрив, хімікатів, палива і т.д. Досягається це за рахунок використання спеціалізованих методик внесення.

Також заощаджуються кошти завдяки зниженню витрат на придбання і ремонт техніки за рахунок її більш раціонального використання.

Нові технології процесу обробітку ґрунту, такі як картування врожайності, паралельне водіння і ін. знижують час і трудомісткість процесу.

Диференційоване внесення добрив – один з найважливіших елементів точного землеробства. Воно передбачає, що добрива вносяться вибірково, там, де необхідність в тих чи інших добривах особливо актуальна. Причому застосовується два основних способи: внесення в режимі реального часу і внесення з попередньо підготовленої картою поля. Найчастіше застосовується другий варіант.

На 1-му етапі створюється попередня електронна карта поля по забезпеченості ґрунту хімічними елементами живлення. Це можна зробити декількома способами, які відрізняються один від одного комбінацією використовуваного обладнання.

Наприклад, можна використовуват дані врожайності, записані прямо під час збирання врожаю в пам'ять бортового комп'ютеру комбайну. Аналіз врожайності дає можливість визначити «проблемні» ділянки, тобто ділянки з мінімальним рівнем врожайності, и саме там відібрати проби ґрунту для аналізу. Якщо можливості зібрати такі дані немає, то відібрати проби доведеться з усього поля.

На 2-му етапі – відбір ґрунту. Технологія відбору при точному землеробстві полягає, перш за все, у визначенні координат виділених ділянок на електронній карті. Місцезнаходження таких ділянок встановлюється за допомогою високоточного GPS-приймача.

Відбір проб для агрохімічного аналізу необхідно проводити з огляду на вертикальну структуру, неоднорідність ґрунтового покриву, рельєф і клімат місцевості.

Тут також є, різні методики:

- випадковий відбір проб – підходить для однорідних полів з невеликими змінами. Даний метод не підходить для точного землеробства, оскільки показує лише середні показники поля;

- виділення елементарних ділянок на підставі результатів моніторингу врожайності;

- еталонний відбір проб – добре підходить для неоднорідних полів з великою кількістю змін на поле (пагорби, зміни рельєфу і т.д.). Еталонний відбір проб зменшує площу обраного поля шляхом ділення його на ділянки розміром 5-10 га. Таким чином, після проведення аналізу повинні будуть дані рекомендації по внесенню добрив для кожної такої ділянки. В ідеалі координати кожного еталонного ділянки повинні бути відзначені за допомогою GPS, або іншим способом, щоб в майбутньому можна було повернутися на нього для відбору проб і внесення добрив. Відбір зразків в одному і тому ж самому місці покаже картину щорічних змін на полі.

Відбір змішаних зразків найкраще проводити навесні, коли на поле ще не внесені добрива і не проведені посіви. Другий термін відбору зразків – після збирання врожаю, коли основний запас доступних поживних елементів вже витрачено рослинами, а відсутність посівів не заважає виконанню робіт.

Найчастіше для відбору змішаних ґрунтових зразків застосовують метод «конверта»: на кожній з ділянок по діагоналі або по «конверту» (4 точки по кутах і одна в центрі) в його 5-ти точках відбирають проби.

Як правило, точкові проби відбирають з орного горизонту ґрунту, де глибина становить 0-30 см, а відбір проб в заданій точці здійснюється ручним буром або автоматичним пробовідбірником.

3-й етап – лабораторний аналіз ґрунту. Аналіз може включати тестування ґрунту на нітратний азот, доступний фосфор, доступний калій, сірку, кислотність ґрунту (рН), засоленість і вміст органічної речовини (потенціал ґрунту). Також проводяться аналізи на мікро- і макроелементи, такі як бор, молібден, мідь, залізо, марганець, цинк, кобальт, магній і кальцій, механічний склад (гранулометрія).

За результатами дослідження ґрунту в лабораторії отримують більш вичерпну та достовірну інформацію про хімічний склад ґрунту, а також його фізико-механічних показників. Ця інформація уточнить уявлення про родючість ґрунту. Крім того, стає можливим створення за допомогою спеціального програмного забезпечення електронної карти поля для точного землеробства.

Як показує практика, існує пряма залежність між врожайністю і вмістом в ґрунті гумусу, рухомого фосфору, лужно-гідролізуемого азоту. Чим вищий вміст гумусу, фосфору й азоту в ґрунті, тим вище рівень врожайності. Ділянки полів із вмістом гумусу менше 2%, зазвичай, схильні до водної ерозії, коли помітний вихід материнської породи на поверхню. Менш значуща залежність за змістом рухомого калію.

4-й етап – розрахунок дози добрив на запланований врожай. З огляду на рекомендації агрохіміків з ефективного використання добрив проводиться розрахунок норми діючої речовини на гектар.

Розраховані значення норм внесення добрив формують в програмі SMS-Advanced карту-завдання на внесення добрив, що складається з елементарних ділянок, колір яких відповідає заданій нормі внесення добрив у фізичній вазі. Кожен з елементарних ділянок має однаковий розмір (виходячи з ширини захоплення розкидачів) і свою географічну прив'язку.

5-й етап – диференційоване внесення добрив. Карта-завдання завантажується в бортовий комп'ютер трактора. Під час руху трактора по полю при внесенні добрив бортовий комп'ютер, використовуючи дані позиціонування з високоточного GPS-приймача, зчитує інформацію з карти-завдання і керує положенням дозуючих заслінок, збільшуючи або зменшуючи подачу добрив.

Персональний підхід до кожного поля та вивчення ґрунтів стане основою на початку шляху до технології точного землеробства. Для того, щоб зрозуміти, що відбувається в ґрунті, тобто в яких умовах доведеться починати роботу (а саме тип ґрунту, вміст мікро та макро елементів, органічна складова) та яких

елементів потребує поле, його слід дослідити, проаналізувати та сформувавши стратегію роботи у вигляді карт-завдання для розкидача, обприскувача або аплікатора для внесення добрив. Від дослідження ґрунту до створення карти-завдань потрібно пройти декілька цікавих кроків: сканування ґрунту для виявлення неоднорідностей поля, створення стратегії, щодо відбору проб на аналіз ґрунту в зонах цих неоднорідностей, а після отримання результатів з лабораторії — сформувавши карту-завдання для внесення добрив.

Проаналізувати результат стратегії можна через супутниковий або безпілотний моніторинг культур протягом вегетації або через карти врожайності отримані з комбайна.

Карта завдання - географічна карта, яка містить інформацію про норми внесення або висіву, завдяки якій контролери встановленні на техніці можуть застосовувати відповідну норму до певного місця з використанням навігаційних приладів в реальному часі.

Для створення таких карт нині існує безліч додатків, проте найпопулярнішими є FieldView від Climate, Farm Works від Trimble, SMS від AG Leader, інші GIS програми типу QGIS.

Розглянемо найпоширеніший спосіб складання карт, взявши за основу агрохімічний аналіз ґрунту, оскільки він дає можливість швидко зреагувати на отриманий результат.

Наприклад, компанія Agrilab для детального обстеження ґрунтового покриву, оцінки рівня його неоднорідності та доцільності впровадження технологій змінних норм внесення добрив використовує сітку з елементарною ділянкою в 10 га, але часто використовує меншу сітку від 5 до 3 і навіть 1 га: чим більш неоднорідні умови (ґрунти, рельєф, зрошення та ін), тим більша деталізація повинна використовуватися.

Наступний етап — створення карти-завдання. До цього етапу потрібно визначити зони з різним потенціалом за урожайністю та рівнем забезпечення елементами живлення, визначити форму добрив і норму для диференційованого внесення на кожну неоднорідну ділянку поля.

Диференційоване внесення комплексних добрив передбачає вплив на зони внесення всіх елементів, що входять до його складу. Наприклад: вносимо сульфоамофос і закриваємо потребу у фосфорі. Відповідно внесені елементи впливають на норму внесення азоту і сірки.

Наприклад, на картах-завдання є зона, де потреби у фосфорних добривах немає. Ця ділянка займає 11% всієї площі. Якби на цю зону внести середньозважену норму сульфоамофосу ми б отримали перевнесення 254 кг/га. В зоні із внесенням 222 кг/га перевнесення становило б 32 кг/га, а в зоні з потребою 319 кг/га — недовнесли 65 кг/га. В цілому, за диференційованого внесення добрив економія сульфоамофосу становить 1,35 т. При цьому на ділянки внесено стільки, скільки потрібно для оптимізації умов росту і розвитку.

Розвиток точного землеробства суттєво вплинув на сучасну практику ведення сільського господарства, особливо завдяки впровадженню технології on-the-go для різноманітного внесення мінеральних добрив. Цей підхід, який використовує збір і аналіз даних у реальному часі, оптимізує просторову мінливість застосування поживних речовин на сільськогосподарських полях. Традиційні методи часто застосовують однакову норму добрива для всіх полів, не враховуючи варіації властивостей ґрунту, здоров'я врожаю та потреби в поживних речовинах. Однак технологія змінного внесення на ходу вирішує ці проблеми, дозволяючи фермерам точно регулювати норми добрив у режимі реального часу, підвищуючи врожайність, ефективність використання ресурсів та екологічну стійкість.

Технологія «на ходу» об'єднує різні системи датчиків, такі як оптичні датчики, датчики електропровідності та вологості ґрунту, які збирають дані в режимі реального часу про стан ґрунту та культури. Ці дані обробляються комп'ютером у кабіні, який використовує алгоритми для визначення відповідної норми добрива для кожної ділянки поля. Оптичні датчики, наприклад, виявляють відбиття культури на різних довжинах хвиль, надаючи інформацію про стан культури та стан поживних речовин. Датчики

електропровідності вимірюють властивості ґрунту, пов'язані з текстурою та вмістом органічних речовин, пропонуючи зрозуміти наявність поживних речовин. Ці датчики можна встановлювати на тракторах або іншому польовому обладнанні, що дозволяє безперервно збирати дані під час руху техніки по полю.

Успіх мобільної технології значною мірою залежить від точності її датчиків і алгоритмів, які інтерпретують дані для надання рекомендацій щодо застосування в режимі реального часу. Машинне навчання та алгоритми штучного інтелекту відіграють важливу роль у вдосконаленні цих рекомендацій шляхом обробки великих наборів даних, виявлення шаблонів і підвищення точності прогнозів. Завдяки калібруванню за допомогою історичних польових даних і супутникових зображень ці алгоритми можуть ставати все більш складними, пропонуючи більш точні рекомендації щодо управління поживними речовинами. Крім того, прогрес у технології GPS покращує точність внесення добрив, забезпечуючи субметрову точність на великих полях. Цей рівень точності мінімізує втрати поживних речовин і знижує ризик надмірного внесення добрив, що може призвести до погіршення навколишнього середовища через стікання поживних речовин і вимивання.

Переваги змінного внесення добрив на ходу виходять за межі підвищення врожайності. Зіставляючи норми добрив відповідно до вимог конкретної ділянки, фермери можуть зменшити витрати на вхідні ресурси та збільшити прибуток. Крім того, ця технологія підтримує екологічно стійкі практики, запобігаючи надмірному внесенню поживних речовин, що є основною причиною забруднення ґрунтових вод і викидів парникових газів. Наприклад, у посівах, що містять багато азоту, надмірне внесення добрив може призвести до вимивання нітратів, що забруднює джерела води та сприяє евтрофікації прилеглих водойм. Зменшення цього впливу на навколишнє середовище узгоджується з глобальними цілями сталого розвитку та реагує на зростаючий регуляторний тиск на сільськогосподарську практику.

Економічна доцільність є ключовим фактором для широкого впровадження мобільних технологій. Хоча початкові витрати на датчики, блоки обробки даних і сумісні машини для внесення можуть бути високими, потенціал довгострокової економії на добривах у поєднанні з підвищенням врожайності часто виправдовує інвестиції. Фінансові стимули, такі як державні субсидії та екологічні гранти, ще більше підтримали усиновлення шляхом компенсації початкових інвестиційних витрат. Крім того, модульна конструкція технології дозволяє інтегрувати її з наявним сільськогосподарським обладнанням, зменшуючи потребу в повній заміні машин. Оскільки технологія продовжує розвиватися, очікується, що вартість датчиків і обчислювального обладнання знизиться, що зробить його все більш доступним для малих і середніх ферм.

Незважаючи на ці переваги, залишаються проблеми у впровадженні змінного внесення добрив у більшому масштабі. Наприклад, на точність датчика можуть впливати такі умови навколишнього середовища, як вологість ґрунту, температура та густина посівів. Калібрування системи для різних типів ґрунтів і сортів сільськогосподарських культур також вимагає спеціальних знань, що може стати перешкодою для невеликих ферм з обмеженим технічним досвідом. Крім того, для управління та інтерпретації даних потрібні надійні програмні системи, які можуть ефективно й точно обробляти великі обсяги даних. Хоча багато сільськогосподарських компаній пропонують аналітичні платформи даних для точного землеробства, навчання фермерів ефективному використанню цих систем залишається критичною проблемою.

Майбутні розробки в області внесення добрив на ходу, швидше за все, допоможуть вирішити ці проблеми шляхом підвищення точності датчиків і можливостей обробки даних. Нові сенсорні технології, такі як гіперспектральне зображення, пропонують більш детальний аналіз стану рослин, вологості ґрунту та дефіциту поживних речовин. Очікується, що ці технології підвищать точність рекомендацій щодо добрив, тим самим зменшуючи вплив на навколишнє середовище та оптимізуючи врожайність.

Крім того, прогрес у сфері бездротової передачі даних і хмарних платформ дозволить здійснювати моніторинг і зберігання даних у режимі реального часу, сприяючи інтеграції мобільних систем із ширшим програмним забезпеченням для управління фермою.

Карти рецептів на внесення мінеральних добрив являють собою важливий прогрес у пошуках сталого сільського господарства. Завдяки об'єднанню даних про ґрунт, урожай і навколишнє середовище ці інструменти дають фермерам практичну інформацію про цілеспрямоване та ефективне внесення добрив. Отримані переваги включають підвищення врожайності, зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення економічної прибутковості. Однак для повної реалізації цих переваг необхідно докласти зусиль, щоб покращити доступ до об'єктів для тестування ґрунту, підвищити обізнаність про важливість збалансованого внесення добрив і сприяти інтеграції рецептурних карток у цифрові сільськогосподарські платформи. За наявності правильної політики та механізмів підтримки широке використання рецептурних карток може стати наріжним каменем сучасної сільськогосподарської практики, сприяючи як екологічній стійкості, так і економічній стійкості.

Змінне внесення мінеральних добрив на ходу являє собою трансформаційний прогрес у точному землеробстві. Використовуючи дані в реальному часі та автоматизацію, ця технологія оптимізує норми внесення добрив відповідно до конкретних потреб сільськогосподарських культур і ґрунту. Переваги цього підходу включають покращену врожайність, економію коштів та зменшення впливу на навколишнє середовище, узгоджуючи його з практиками сталого землеробства та нормативними вимогами. Хоча існують проблеми з точністю датчиків, керування даними та витратами на впровадження, постійний технологічний прогрес і підтримка сільськогосподарської галузі обіцяють зробити внесення добрив на ходу невід'ємною частиною сучасного сільського господарства. Постійний розвиток цієї технології, ймовірно, відіграватиме центральну роль у

забезпеченні продовольчої безпеки та стійкості навколишнього середовища в умовах глобального зростання населення та зміни клімату.

1.3 Внесення змінних норм добрив на основі даних спектрофотометра VIS-NIR

Підхід VR здатний підвищити врожайність, але з іншого боку вартість додаткових стандартних тестів ґрунту може переважити дохід від зростання врожайності. Тому відбір більшої кількості проб ґрунту на гектар для аналізу поживних речовин не є економічним варіантом. Тим не менш, рекомендації щодо застосування поживних речовин повинні бути скориговані для якомога дрібнішої сітки відбору проб, щоб просторову мінливість можна було виявити навіть на невеликій території (до метра). Цього можна досягти на практиці лише за умови використання нового методу вимірювання, такого як система застосування VR на основі датчиків. Метод на основі карти для VR не підходить, оскільки він базується на обмеженій кількості зразків на гектар. Крім того, цей підхід може створювати помилки через використання системи позиціонування під час збору даних та в інтерполяції між дискретними спостереженнями під час створення прикладних карт.

Застосування добрив із змінними нормами на основі даних спектрофотометра VIS-NIR (у видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні) є багатообіцяючим прогресом у точному землеробстві. Ця технологія дозволяє фермерам ефективніше вносити добрива, узгоджуючи внесення поживних речовин із конкретними потребами сільськогосподарських культур у різних зонах поля. Цей метод контрастує з традиційним рівномірним внесенням добрив, яке не враховує просторову мінливість ґрунту та умов культури. Використовуючи дані, зібрані за допомогою спектрофотометрів VIS-NIR, фермери можуть досягти точного внесення добрив, що потенційно призведе до підвищення врожайності, зменшення впливу на навколишнє середовище та оптимізації витрат на вхідні ресурси.

Спектрофотометри VIS-NIR вимірюють коефіцієнт відбиття світла у видимій та ближній інфрачервоній областях спектру, надаючи важливі дані про біохімічні та біофізичні властивості рослин і ґрунтів. Спектральні дані вказують на кілька важливих властивостей культури, включаючи вміст хлорофілу, стан води та рівень поживних речовин, а також властивості ґрунту, такі як органічна речовина, вологість і структура. Аналізуючи ці параметри, спектрофотометрія VIS-NIR може інформувати потреби культур у поживних речовинах у режимі реального часу. Дані в поєднанні з географічними інформаційними системами (ГІС) та іншими інструментами точного землеробства дозволяють створювати карти полів з високою роздільною здатністю, які відображають мінливість потреб у поживних речовинах. Ці карти є основою для систем із змінною нормою внесення (VRA), які забезпечують точне контрольоване внесення добрив.

Процес починається з отримання спектрофотометричних даних VIS-NIR в різних зонах поля. Спектри відбиття фіксуються або за допомогою наземних портативних пристроїв, датчиків, встановлених на дронах, або датчиків, встановлених на тракторі, які сканують великі площі поля. Зібрані спектральні дані потім калібруються та аналізуються для оцінки рівнів основних поживних речовин, як правило, азоту, фосфору та калію, необхідних для кожної зони поля. Для інтерпретації спектральних даних VIS-NIR і точного прогнозування доступності поживних речовин використовуються різні алгоритми, такі як часткова регресія найменших квадратів (PLSR), опорні векторні машини (SVM) і штучні нейронні мережі (ANN). Ці моделі використовують значення спектрального коефіцієнта відбиття, що відповідають певним довжинам хвиль, для оцінки дефіциту або надлишку поживних речовин, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо норм внесення добрив.

Після встановлення потреби в поживних речовинах інформація вводиться в системи VRA, які регулюють норми добрив на ходу. Система VRA, як правило, інтегрована з розкидачів або обприскувачів зі змінною нормою, які оснащені системами навігації на базі GPS. Коли техніка рухається по полю,

вона зчитує карти поживних речовин, створені на основі даних VIS-NIR, і вносить добрива в точних нормах відповідно до вимог кожної зони. Наприклад, зони з високим рівнем азоту отримують меншу норму азотних добрив, тоді як зони з дефіцитом азоту отримують вищі дози, таким чином досягаючи балансу по всьому полю. Цей підхід веде до більш ефективного використання добрив, що не тільки зменшує витрати на введення, але й пом'якшує вплив на навколишнє середовище, пов'язаний із надмірним використанням добрив, наприклад підкислення ґрунту, вимивання поживних речовин і забруднення водних шляхів.

Впровадження удобрення VRA на основі VIS-NIR стикається як з технічними, так і з операційними проблемами. Збір і обробка даних може бути дорогим, а інтерпретація спектральних даних вимагає надійних моделей, навчених на великих наборах даних. Неоднорідність ґрунту та сільськогосподарських культур ще більше ускладнює процес, оскільки варіації текстури ґрунту, вмісту органічної речовини та видів сільськогосподарських культур можуть впливати на показники спектрального відбиття. Отже, моделі калібрування повинні бути специфічними для типу культури, типу ґрунту та місцевих умов навколишнього середовища, що може вимагати зусиль з калібрування на певному полі або навіть повторного калібрування з часом. Крім того, такі експлуатаційні фактори, як сумісність систем VRA з наявним сільськогосподарським обладнанням, простота використання та рівень кваліфікації операторів, можуть вплинути на успішне впровадження цієї технології.

Незважаючи на ці проблеми, переваги VIS-NIR спектрофотометрії VRA запліднення є значними. Дослідження показують, що внесення добрив VRA на основі спектральних даних може підвищити врожайність сільськогосподарських культур шляхом оптимізації доступності поживних речовин у кореневій зоні, таким чином підтримуючи більш інтенсивний ріст культури. Економічні переваги подвійні: хоча витрати на початкове налаштування технологій VIS-NIR і VRA можуть бути високими, фермери

можуть з часом заощадити кошти за рахунок зменшення непотрібного внесення добрив. Крім того, VRA зменшує вплив сільського господарства на навколишнє середовище, мінімізуючи стік поживних речовин і викиди парникових газів, пов'язані з виробництвом і застосуванням добрив.

Підсумовуючи, застосування добрив у змінних нормах за допомогою спектрофотометрії VIS-NIR є прогресивним підходом до точного землеробства, який відповідає цілям сталого сільського господарства. Він пропонує засоби для підвищення продуктивності, зменшення впливу на навколишнє середовище та підвищення економічної життєздатності сільськогосподарських операцій. Інтеграція технології VIS-NIR у стандартну практику ведення сільського господарства потребує подальшого розвитку для підвищення точності даних і зниження операційних витрат, але поточні досягнення в спектральному аналізі та машинному навчанні є перспективними. У міру розвитку цієї технології спектрофотометрія VIS-NIR може стати наріжним каменем у наборі інструментів для точного землеробства, сприяючи переходу до більш стійких та ефективних систем землеробства.

Внесення добрив із змінною нормою (VR) — це процес внесення різних норм добрива відповідно до мінливості ґрунту на сільськогосподарському полі. Він спрямований на підвищення врожайності та зменшення впливу на навколишнє середовище за рахунок кращого управління мінливістю поля. У той час як на деяких ділянках поля може знадобитися внесення добрив, на інших можна отримати оптимальний урожай без додавання добрив.

З агрономічної точки зору, VRT підтримує стратегії поживних речовин для певних культур, які є важливими для оптимізації росту рослин. Польові випробування показують, що врожайність сільськогосподарських культур зазвичай вища, коли використовується VRT, особливо на полях із високою мінливістю поживних речовин. Здатність вирішувати мінливість усередині поля гарантує, що ділянки з високим потенціалом отримають достатню кількість поживних речовин, тоді як ділянки з низьким потенціалом не будуть

надмірно удобрені. Цей індивідуальний підхід до управління узгоджується з метою точного землеробства «робити правильні речі, у потрібному місці та в потрібний час». Однак не всі дослідження повідомляють про значне підвищення врожайності, особливо на полях з низькою початковою мінливістю. У таких випадках основна перевага VRT може полягати більше в збереженні ресурсів і екологічній стійкості, а не в підвищенні врожайності.

Технологія внесення добрив VR повинна мінімізувати надмірне та недостатнє внесення добрив. Система гранульованого внесення добрив VR має вносити потрібну кількість добрив на різні ділянки поля відповідно до доступної родючості ґрунту. Недавні дослідження показали, що існує висока мінливість поживних речовин у ґрунті навіть на невеликій площі поля (аж до метра). Отже, щоб успішно задовольнити потреби поля, внесення добрив має бути адаптовано для обробки якомога меншої площі. Тому внесення добрив VR має передбачати використання сівалок для внесення добрив, а не відцентрових розкидачів, оскільки метою є точність розміщення, а не ширина обробки.

У додатках VR на основі датчиків ґрунту під час руху трактора по полю добрива вносяться на основі інформації про ґрунт, зібраної датчиком, встановленим у передній частині машини. Слід оптимізувати відстань датчика перед аплікатором. На положення датчика впливає робоча швидкість трактора та час затримки між отриманням даних і внесенням добрив.

Час затримки можна визначити як період часу між зніманням сканування ґрунту (наприклад, вмісту фосфору в ґрунті (P)) і внесенням відповідного добрива з необхідною нормою в ґрунтову борозну. Зрозуміло, що норми внесення добрив можуть бути змінені зі значною затримкою в часі, оскільки потрібен обмежений час для збору, обробки та передачі інформації аплікатору. Після передачі інформації аплікатору також необхідно врахувати реакцію машини та час затримки швидкості потоку гранул. Огляд доступної літератури показав, що немає досліджень щодо визначення часу затримки VR-аплікатора гранульованих добрив на основі датчика, головним чином через те, що VR-

внесення «на ходу» все ще є відносно новою технологією та знаходиться на стадії розробки.

Мета цього дослідження полягала у визначенні часу затримки системи VR удобрення фосфатом (P₂O₅), спрямованої на досягнення оптимального положення «на ходу» видимого (VIS) та ближнього інфрачервоного (NIR) датчика ґрунту для забезпечення точної системи внесення добрив VR.

2 ТЕХНІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Спектрофотометр і мобільний датчик ґрунту

Одна з можливостей для зондування ґрунту «на ходу» за допомогою спектрофотометра VIS–NIR. Він складається з долотного вузла, який проникає в ґрунт на необхідну глибину, утворюючи траншею, дно якої згладжується за рахунок спрямованих вниз сил, що діють на плоску поверхню долота. Оптичний блок прикріплений до задньої частини долота для отримання даних спектру ґрунту з дна траншеї (рис. 1).



Рис. 1 – Схематична діаграма видимого та ближнього інфрачервоного (VIS–NIR) датчика ґрунту

Оптичний блок підключається до оптичних волокон для освітлення та збору відбитого світла. Волокна були встановлені під кутом 45° у тримачі лінзи. Волокна підключаються до спектрофотометра за допомогою пари волокон (одне для освітлення, а інше для виявлення світла) для вимірювання спектрів відбиття ґрунту. Техніко-економічна можливість зондування Р у ґрунті за допомогою цієї системи зондування VIS–NIR вже була показана. У цьому дослідженні цей датчик ґрунту «на ходу» був поєднаний із мобільним волоконним спектрофотометром VIS–NIR (волокно CORONA VISNIR 1.7, Carl Zeiss, Німеччина). Прилад швидкий і точний (швидкість сканування 500 мс, діапазон довжин хвиль 306,5–1710,9 нм, точність довжини хвилі 0,5–1 нм, шум 0,1%, дрейф 0,5%/год і період калібрування 1 год), і багато дослідників

успішно використовували цей тип приладу як портативний спектрофотометр. Було виміряно час затримки збору VIS-NIR-спектрів ґрунту за допомогою цього «рухомого» датчика ґрунту.

2.2 Аплікатор добрив

В якості експериментальної платформи використовувалася просапна сівалка ED302 (AMAZONE, Ольденбург, Німеччина) з відділенням для внесення добрив 4-75 (Maleki et al., 2007a). Норму внесення можна змінити за допомогою електричного приводу (LINAК & Co.), встановленого на машині. Привід змінював швидкість обертання дозаторів добрив за допомогою безступінчастої коробки передач, що приводилася в дію від опорних коліс. Відстань між дозаторами та дном сошників становила 950 мм. Привід може запускатися через інтерфейс через послідовний порт RS232 для зміни норми внесення. Привід зі швидкістю викиду добрив був відкалібрований на основі швидкості потоку P2O5.



Рис. 2 – Електричний привод для зміни норми внесення (ED 302, AMAZONE) і кодер для вимірювання переміщення приводу

Для різних налаштувань приводу ґрунтове колесо оберталося для імітації внесення добрив на 100 м². Викинуті добрива збирали та вимірювали цифровими вагами з точністю до 0,01 г. Вимірювання проводилось для 25 різних позицій на шкалі електроприводу (рис. 2). Усі вимірювання повторювали тричі. Параметри приводу були відкалібровані (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,999$) з відповідною нормою внесення. Таким чином, для будь-якої норми внесення в масштабі P₂O₅ кг/га можна було відновити налаштування, і норма внесення змінювалася від 0 до 200 кг/га P₂O₅ з інтервалом 5 кг/га P₂O₅.

Розроблено програму на мові програмування LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) (National Instrument, США, версія 6.1) для збору спектрів ґрунту, обробки даних та керування системою внесення добрив VR. Час виконання програми вимірювали з використанням трьох різних швидкостей комп'ютерної обробки: 366 МГц, 600 МГц і 3,2 ГГц.

2.3 Час затримки

Час затримки включає час для сканування ґрунту, виконання програмного забезпечення та транспортування сигналу, а також час реакції аплікатора на нову норму. Час затримки аплікатора можна розділити на дві частини. По-перше, час затримки машини, який є часовою затримкою між сигналами, надісланими для зміни норми потоку добрив, і встановленням цього механічного налаштування на пристроях дозування добрив, і по-друге, затримка масового потоку, яка є періодом часу між новим механічним налаштуванням на гранульованих дозаторах і нова норма добрива досягає ґрунтової борозни.

2.4 Час затримки механічного налаштування для зміни норми

Оскільки реакція електричного приводу на отриманий сигнал (від програмного контролера для зміни норми внесення) не була миттєвою, час затримки приводу розглядався як фактор загального часу затримки. На

аплікаторі було встановлено інкрементальний кодер (PKS09, SICK ISTEGMANN, Німеччина) (рис. 2), щоб рух приводу міг ініціювати кодер. Потім вимірювали час переміщення приводу з одного положення в інше шляхом інтегрування сигналів зворотного зв'язку кодера. Цей час затримки вимірювали під час зміни норми внесення з інтервалами 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100 і 200 кг/га P_2O_5 . Ці вимірювання проводилися з використанням низьких і високих норм і навпаки протягом усіх інтервалів застосування.

2.5. Час затримки випадання добрива в статичних умовах вимірювання

Іншим джерелом часу затримки був час, необхідний гранульованим P_2O_5 , щоб досягти кінцевих трубок для добрива після встановлення нового положення приводу для нової відповідної норми. Цей час, за які гранули переміщуються від дозаторів добрив до дна обґрунтованої транзакції, створеної борозенковими сошниками.

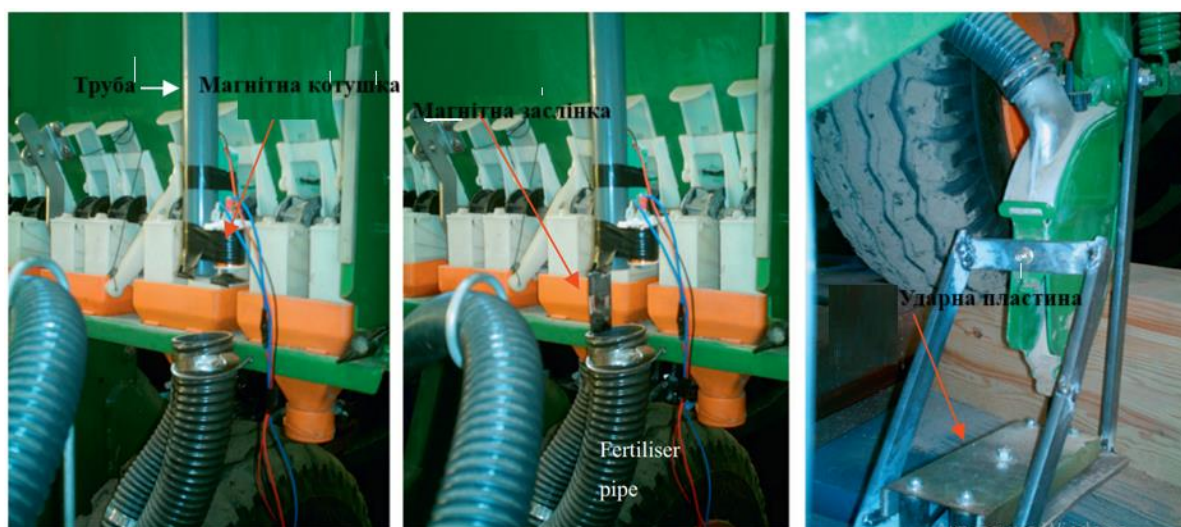


Рис. 3 – Експериментальна установка для вимірювання часу затримки падіння добрива в тукопроводах, магнітний затвор у двох положеннях (а) закритий і (б) відкритий та ударна пластина (в), встановлена під сошниками ; зазор між пластиною і вихідним отвором вважався таким, щоб компенсувати довжину труби з верхньої сторони.

Детектор із ударною пластиною (рис. 3) встановлювався на кінці трубок (виходів) для добрив поблизу сошників на тій самій глибині, що й на місці

розміщення добрив на дні розкритого обґрунтування. Над дозаторами добрив вертикально встановлювали поліетиленову трубу так, щоб її торець (нижня сторона) був на одному рівні з дозаторами добрив (рис. 3).

На кінці цієї труби встановлено електромагнітний затвор, щоб контролювати початок опускання добрив шляхом відкриття затвора. Однак, щоб можна було легко опускати гранули добрива в трубку, поліетиленову трубу зсунули на 110 мм вниз. Щоб компенсувати цю зміщену довжину, ударна пластина була розміщена на відстані 110 мм від сошників.

Програма на мові LabVIEW (National Instrument, версія 6.1) була використана для вимірювання часу затримки падіння добрива від дозуючих пристроїв до сошників. На початку кожного тесту імпульсні сигнали реєструвалися з постійною частотою, що посилався детектором ударної пластини. Після ручного розміщення гранул всередині трубки програма записала час між ініціюванням магнітного затвора та отриманням імпульсного сигналу від детектора ударної пластини. Вимірювання було повторено 50 разів, і тест проводився як для окремої частинки, так і для групи частинок (повна ложка гранул добрива). У разі використання групи частинок у трубку поміщали кілька гранул замість однієї частинки. Це вимірювання проводилося в статичних умовах.

2.6. Час затримки випадіння добрива за умови динамічного вимірювання

Вимірювання часу затримки приводу однакове як для статичних, так і для динамічних умов. Однак на рух гранул всередині розрядних трубок можуть впливати вібрації аплікатора. Щоб вивчити цей вплив на час затримки внесення добрив, вимірювання необхідно проводити в польових умовах. Щоб спростити налаштування для таких умов, польові умови були змодельовані в лабораторії за допомогою вібраційного стенду з чотирма плакатами (FPVS) (рис. 4).

Сигнали вібрації поля були відтворені за допомогою методології, описаної Anthonis et al. (20020). Вони встановили по чотири акселерометри на кожну вісь трактора для реєстрації вібрації трактора під час роботи в полі. Вони синтезували вібраційні сигнали на багатьох полях та сформулювали їх для 5 рівнів амплітуди (15, 20, 25, 30 і 35 мм).

У цьому дослідженні на основі частотного вмісту цих сигналів було синтезовано нові сигнали, які мали частотний вміст середнього значення полів. Амплітуду вібрації на FPVS встановлювали з амплітуд потенціалу від 15 до 35 мм. Задні колеса трактора та колеса аплікатора сівалки помістили на FPVS і розпочали струшування. Час затримки падіння добрив вимірювали на основі тієї ж методології, що описана в розділі 2.5. Вимірювання було повторено 40 разів для всіх амплітуд вібрації.



Рис. 4 – Вібраційні стійки з чотирма плакатами для струшування машини, що імітує польові умови; задні колеса трактора та два колеса аплікатора були розміщені на струшувальних підставках і вимірювався час затримки падіння добрива

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1 Час затримки для сканування ґрунту та обробки даних

Витрати часу на сканування ґрунту залежать від типу спектрофотометра. Оскільки спектрофотометр від компанії Zeiss має ефективний час сканування спектрів відбиття ґрунту 500 мс, він дає змогу сканувати ґрунт на короткій відстані. Однак цей час (або час затримки) створює зсув, який необхідно враховувати при встановленні датчика ґрунту.

Для системи внесення добрив VR на основі сенсора ґрунту інформацію про ґрунт необхідно зібрати та передати в аплікатор, щоб адаптувати норму внесення під час подорожі по полю. Швидкість обробки даних залежить від обсягу обробки даних, а також від швидкості комп'ютера. Цей час вимірювався на трьох комп'ютерах з різною швидкістю.

Таблиця 1 – Відстань (зсув) у метрах між датчиком ґрунту та вихідними отворами для добрив для компенсації часу затримки збирання даних на основі трьох швидкостей процесора комп'ютера

Швидкість трактора, км/год	Швидкість комп'ютерної обробки		
	366 MHz	600 MHz	3.2 GHz
2	0,361	0,143	0,019
3	0,542	0,214	0,029
4	0,722	0,285	0,039
5	0,903	0,357	0,048
6	1,083	0,428	0,058
7	1,264	0,499	0,067
8	1,444	0,571	0,077

Час затримки внаслідок обробки та компіляції даних становив 650, 395 та 135 мс для трьох тактових частот комп'ютера 366, 600 та 3200 МГц відповідно. Під час вибору цих комп'ютерних швидкостей було враховано, щоб швидкість трактора для посіву та внесення добрив становила приблизно 6–8 км/год, що вимагало належного зміщення положення датчика. У таблиці 1

показано вимоги до зсуву для розташування датчика ґрунту перед вихідними отворами аплікатора добрив із використанням трьох швидкостей комп'ютера при швидкості трактора від 2 до 8 км/год. Як видно, додаткове зміщення коливалося від 0,019 до 1,44 м для швидкості комп'ютера 3,2 ГГц при швидкості трактора 2 км/год і швидкості комп'ютера 366 МГц при швидкості трактора 8 км/год. , відповідно.

3.2 Час затримки механічного налаштування для зміни норми

Отримавши сигнал про нову норму внесення, виконавчий механізм починає змінювати положення важеля коробки передач для зміни швидкості обертання дозаторів добрива, в результаті чого вноситься нова норма внесення. На рис. 5 показано час затримки, необхідний для зміни норми внесення з інтервалами 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100 і 200 кг P₂O₅ha⁻¹.

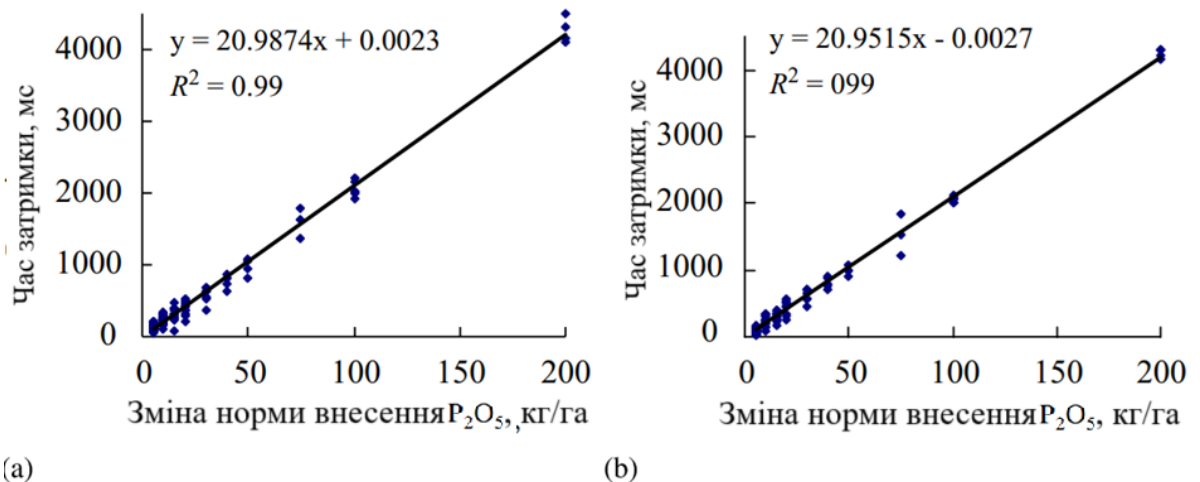


Рис. 5 – Час затримки, виміряний для зміни норми внесення з інтервалами 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 75, 100 і 200 кг/га від 0 до 200 кг/га P₂O₅ для комерційного використання аплікатор добрив (ED302, AMAZONE): (а) вимірювання від нижчої норми до верхньої норми та (б) вимірювання від верхньої норми до нижчої норми

Чим більша різниця між поточною та новою нормами, тим більше часу потрібно на приводі для зміни норми внесення. Час затримки для зміни норми внесення для інтервалів 1 кг/га P₂O₅ становив 21 мс, вводячи зміщення для положення датчика від 0,011 до 0,088 м при швидкості трактора від 2 до 8

км/год, тоді як час затримки для зміни норма внесення для інтервалів внесення 20 кг/га P_2O_5 становила 420 мс, що потребує додаткового зсуву для позиціонування датчика в діапазоні від 1,27 до 5,07 м при швидкості трактора 2–8 км/год відповідно.

Час затримки зміни норми вводить перехід у нормі внесення під час зміни норми на нову норму. Наприклад, якщо норма змінюється з 10 до 20 кг/год, час затримки становить 0,21 с, що потребує відстані 0,4 м при швидкості трактора 7 км/год. Потім площа $3 \times 0,4$ м² (з шириною аплікатора 3 м) отримує норму внесення, починаючи з 10 кг/га і закінчуючи 20 кг/га. Цю площу можна зменшити за допомогою швидших механізмів зміни швидкості; однак його неможливо повністю усунути.

3.3. Час затримки внесення добрив

Результати статичних випробувань показали, що існує час затримки 1116 мс для того, щоб добриво потрапило з дозувальних пристроїв до бороздових сошників аплікатора. Як правило, цей час залежить від одного аплікатора до іншого через різну довжину, форму та матеріали трубки.

Динамічний тест показав менший час затримки (1008 мс) порівняно зі статичним тестом. Це може бути пов'язано зі збудженням гранул стінкою трубки під час вібрації. Час затримки для осадження добрив був більшим, коли його вимірювали з окремими гранулами порівняно з групою гранул. У статичному тесті цей час становив 1169 і 1062 мс для окремих гранул і груп гранул відповідно.

Тоді як у динамічних тестах час становив 1061 і 955 мс для окремої та групи гранул відповідно. Менший час, виміряний для групи гранул, міг бути пов'язаний з тим, що програмне забезпечення завжди реєструвало час затримки найшвидшої частинки всередині трубки. Середній час затримки для падіння добрив у всіх статичних і динамічних тестах становив 1124 мс, і це було використано як загальний час затримки для системи.

3.4. Визначення положення датчика відповідно до загального часу затримки

Як описано раніше, зміщене положення датчика ґрунту змінюється залежно від амплітуди зміни норми, а також від швидкості трактора. Є два можливі місця, де можна встановити датчик ґрунту на системі внесення добрив VR.

Перша позиція знаходиться на інструментальній панелі аплікатора, але друга позиція може бути в передній частині трактора за допомогою окремого гідравлічного триточкового вузла зчіпки. Хоча перший варіант має перевагу в тому, що датчик і глибину внесення добрив зручно контролювати, відстань між датчиком ґрунту та випускним отвором для добрив занадто мала і не може забезпечити необхідне зміщення через швидкість трактора (6–8 км/год). h-1). Зміщення для встановлення датчика на системі внесення добрив VR можна визначити як

$$D = \frac{S_{Tr}(T_S+T_P+T_R+T_D)}{3.6} \quad (1)$$

де D – відстань зміщення між виходами датчика ґрунту та аплікатора в м; S_{Tr} – швидкість трактора в км/год; T_S – час сканування ґрунту в с; T_P – час обробки даних у с; T_R – час зміни норми внесення в с; T_D – час, необхідний для проходження добрива від дозуючих пристроїв до сошників у с.

У таблиці 2 показано вплив швидкості трактора на зміщення, необхідне для встановлення датчика ґрунту при швидкості комп'ютера 600 МГц з різними інтервалами норм внесення фосфату. Швидкість трактора є найважливішим впливом на визначення зміщення. Зсув різко зростає, коли швидкість трактора зростає з 2 до 8 км/год. Таблиця 2 також показує, що амплітуда зміни норми внесення також впливає на зсув між датчиком ґрунту та вихідними отворами добрива.

Враховуючи середню швидкість посіву та внесення добрив 7 км/год, для встановлення датчика перед вихідними отворами для добрив необхідний зсув 3,83 м. У разі встановлення датчика в передній частині трактора відстань між

датчиком ґрунту та вихідними отворами для добрив зазвичай перевищує необхідне зміщення.

Таблиця 2 – Зсув (м), необхідний для встановлення датчика ґрунту для швидкості комп'ютера 600 МГц при різних швидкостях трактора та різних інтервалах для внесення фосфату

Інтервал внесення P ₂ O ₅ , кг /га	Швидкість трактора, км/год						
	2	3	4	5	6	7	8
1	1,05	1,579	2,09	2,62	3,14	3,66	4,19
2	1,06	1,59	2,12	2,65	3,17	3,70	4,23
5	1,09	1,64	2,19	2,73	3,28	3,83	4,37
10	1,15	1,73	2,30	2,88	3,45	4,03	4,61
20	1,27	1,90	2,53	3,17	3,80	4,44	5,07

Час збору спектрів ґрунту становив 0,5 с.

У цьому випадку в робоче програмне забезпечення LabVIEW можна включити додаткову затримку часу, щоб компенсувати вимогу зміщення, і це навіть можна зробити залежним від швидкості. Ця додаткова затримка часу може бути сформульована як

$$\Delta t = \frac{3,6(L-D)}{S_{Tr}} \quad (2)$$

де Δt – додаткова затримка часу для встановлення датчика ґрунту на передній частині трактора в с, L – відстань між датчиком ґрунту та бороздорозпушувачами аплікатора (рис. 6) у м, D – вимкнений датчик ґрунту. задана потреба в м, S_{Tr} – швидкість трактора в км/год.

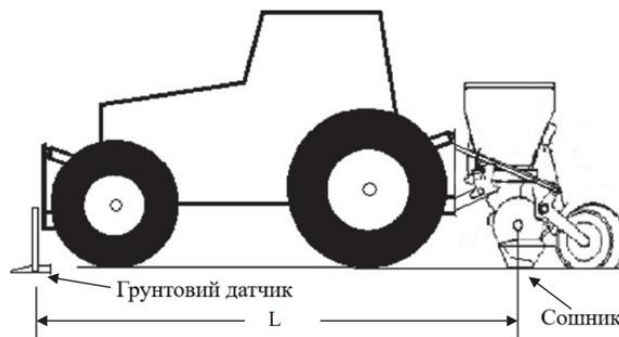


Рис. 6 – Схематична діаграма положення датчика ґрунту для системи внесення добрив із змінною нормою на основі датчика: L – відстань між датчиком ґрунту та сошниками

ВИСНОВКИ

Вимірювання часу затримки в системі внесення добрив потрібне для внесення належних доз добрив у потрібних місцях за допомогою аплікатора VR на основі датчика ґрунту. Датчик ґрунту розташований перед аплікатором добрив. Час затримки, викликаний збором інформації про ґрунт із датчика, обробкою його даних, механічним налаштуванням, зміною норми внесення, відстанню між дозаторами добрив і сошниками, а також швидкістю трактора – все це впливові фактори, які слід брати до уваги.

Наші результати показали, що зсув у положенні датчика приблизно на 0,5 м необхідний для кожного збільшення швидкості трактора на 1 км/год. Крім того, просторова мінливість поживних речовин у ґрунті може опосередковано впливати на вимогу компенсації. Чим більша варіабельність рівнів поживних речовин у ґрунті поля, тим вищий потрібний зсув у положенні датчика, оскільки для прийняття норми внесення добрив необхідне більше коригування.

Результати також показали, що існує постійний час затримки у розвантаженні добрив для будь-якої системи внесення добрив, що можна пояснити формою, розміром і відстанню трубок для добрив від дозувального пристрою до вихідних отворів для добрив.

Найкращим місцем для встановлення датчика ґрунту є передня частина трактора, де доступне максимальне зміщення (або максимальний час затримки). Однак, щоб компенсувати надмірне зміщення, коли загального часу затримки недостатньо для досягнення цього зсуву, важливо використовувати штучну затримку часу в передачі сигналу до аплікатора добрив.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [USDA-NASS]. United States Department of Agriculture-National Agricultural Statistics Service. 2021 Agricultural Chemical Use Highlights. 2022. Available online: https://www.nass.usda.gov/Surveys/Guide_to_NASS_Surveys/Chemical_Use/ (accessed on 13 November 2022).
2. Virk, S.; Meena, R. Pulse Width Modulation Technology for Agricultural Sprayers. University of Georgia Cooperative Extension, Athens, GA. Circular 1277; 2022; pp. 1–8. Available online: <https://extension.uga.edu/publications/detail.html?number=C1277> (accessed on 14 February 2023).
3. Hou, Z.; Yang, H. Effects of soil fertilization periods and methods on the growth and fruiting of fruit trees. *Pract. Rural Technol.* 2019, 11, 48.
4. Liu, J.; Li, H.; Hao, B.; Qu, Z.; Han, L. Effects of different fertilization treatments on apple fruit quality and fruit tree growth. *Shaanxi Agric. Sci.* 2021, 67, 48–51
5. Du, J. Effect of Organic Fertilizer Substitution for Chemical Fertilizer and the Level of Nitrogen, Phosphorus and Potassium Regulation on Apple Production. Master's Thesis, Shandong Agricultural University, Shanghai, China, 2022.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати досліду на 50 полях [Електронний ресурс] // *Агроном.* – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/siyaty-sonyashnyk-zi-zminnoyu-normoyu-chy-ni-rezultaty-doslidu-na-50-polyah/>.
7. Przywara, A.; Santoro, F.; Kraszkievicz, A.; Песуна, А.; Pascuzzi, S. Experimental study of disc fertilizer spreader performance. *Agriculture* 2020, 10, 467.
8. Фактори, які впливають на прибуткове вирощування гібридів кукурудзи [Електронний ресурс] // *Seed Ukraine.* – 2020. – Режим доступу до

ресурсу: <https://seed-ua.com/ua/factory-yaki-vplyvayut-na-prybutkove-vyroshhuvannya-gibrydiv-kukurudzy/>.

9. Amankulova K., Farmonov N., Mucsi L. Time-series analysis of Sentinel-2 satellite images for sunflower yield estimation, *Smart Agricultural Technology*, Vol. 3, 2023 DOI:10.1016/j.atech.2022.100098.

10. Налаштування сівалок при проблемах з посівом і глибиною заробки насіння [Електронний ресурс] // Поради від команди DEKALB. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.dekalb.ua/agronomichna-biblioteka/porady-vid-monsanto/nalashtuvannja-sivalok>.

11. Легкодух І. Автоматизовані системи контролю якості сівби для просапних сівалок [Електронний ресурс] / І. Легкодух, Н. Легкодух // *Агросеа*. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: https://agrosea.com.ua/UKRNIPVT_POGORILOGO/.

12. Процеси, машини та обладнання АПВ [Текст] : навч. посіб. / М. О. Свірень, В. П. Смірнов, І. М. Осипов та ін. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2018. - 296 с.

13. Як оцінити якість посіву? Plant Counting: Pogostick та дрони [Електронний ресурс] // *aggeek*. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://aggeek.net/ru-blog/yak-otsiniti-yakist-posivu-plant-counting-pogostick-ta-droni>.

14. Правильний посів: основні фактори, що впливають на врожайність під час сівби польових культур. [Електронний ресурс] // *AgroDay*. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroday.com.ua/2019/05/14/pravylnyj-posiv-osnovni-factory-shho-vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyh-kultur/>.

15. Морозов І. Фактори ефективності сівалок [Електронний ресурс] / І. Морозов, М. Макаренко // *Агробізнес Сьогодні*. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://agro-business.com.ua/agro/mekhanizatsiia-apk/item/1138-factory-efektyvnosti-sivalok.html>.

16. Wang, X. Analysis of the results of a trial of organic fertilizer replacing some chemical fertilizers in potatoes. *Mod. Agric.* 2021, 01, 56–57.

17. Wang, S.; Li, L.; Wu., D.; Liu, F.; Zhang, P. Experimental study on the effect of replacing chemical fertilizers with equal-nutrient commercial organic fertilizers. *Mod. Agric. Sci. Technol.* 2020, 12, 199–200.
18. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). *Precision Agriculture Basics*. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.
19. Jupp L. (2018). *Precision Farming From Above*. Writing Matters Publishing, 113 p.
20. Alameen, A.A.; Al-Gaadi, K.A.; Tola, E.K. Development and performance evaluation of a control system for variable rate granular fertilizer application. *Comput. Electron. Agric.* 2019, 160, 31–39.
21. Colaço, A., Bramley, R., 2018. Do crop sensors promote improved nitrogen management in grain crops? *F. Crop. Res.* 218, 126–140. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.01.007>.
22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.
23. Heiß, A., Paraforos, D.S., Sharipov, G.M., Griepentrog, H.W., 2020. Modelling and Simulation of a Fuzzy System for Site-Specific Nitrogen Fertilization. In: *Proceedings of the 21st IFAC World Congress (virtual)*, July 12-17, Berlin, Germany (in press).
24. Paraforos, D.S., Sharipov, G.M., Griepentrog, H.W., 2019. ISO 11783-compatible industrial sensor and control systems and related research: A review. *Comput. Electron. Agric.* 163, 104863. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.104863>.
25. Mendes, W.R., Araújo, F.M.U., Dutta, R., Heeren, D.M., 2019. Fuzzy control system for variable rate irrigation using remote sensing. *Expert Syst. Appl.* 124, 13–24. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2019.01.043>.

Додатки