

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 факторів, що впливають на показники якості посіву сівалок точного висіву»

Виконав:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Казьмін І.М.

\_\_\_\_\_ (Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-1м ВН

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Зубко В.М.

\_\_\_\_\_ (Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 41 сторінці машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 8 таблиць, 4 рисунки, додатків 2, 25 літературних джерел.

Ключові слова: ПОСІВ, ЯКІСТЬ, ПОСІВНИЙ АГРЕГАТ, РОБОЧА ШВИДКІСТЬ, РІВНОМІРНІСТЬ ВИСІВУ.

Проведено дослідження ефективності поточної технології посіву кукурудзи з одночасною оцінкою точності даних про посів. Було проведено два дослідження, які склалися з двох різних систем обліку на 6-рядній сівалці John Deere для посіву кукурудзи. Перше дослідження було спрямоване на оцінку продуктивності сівалки при 2 налаштуваннях глибини (25 і 51 мм) і чотирьох різних налаштуваннях тиску (від відсутності до високого), а друге дослідження було зосереджено на оцінці продуктивності сівалки під час висіву зі змінною нормою. Використовувались два висівних блоки (John Deere та eSet від Precision Planting) з п'ятьма різними нормами висіву та чотирма обробками на швидкостях руху, які забезпечують поєднання 20 різних швидкостей висівного апарату. Збір польових даних складався з вимірювання сходів рослин, популяції рослин і глибини посіву, а відстань між рослинами, популяція рослин після появи сходів, а також відстань і місце для змін швидкості в межах поля також реєструвалися для дослідження зі змінною нормою висіву.

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1 Стан питання і задачі досліджень.....	7
1.1 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур .....	7
1.2 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву .....	10
2 Методика досліджень.....	14
3 Аналіз результатів досліджень.....	22
3.1 Дослідження глибини посіву та притискової сили .....	22
3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою .....	25
Висновки.....	35
Список використаних джерел.....	38

## ВСТУП

Для посіву пропашних культур, таких як соняшник та кукурудза висіваючі апарати застосовуються в різних технологічних і конструктивних виконаннях, характеризуються рядом позитивних аспектів і деяких недоліків. В даний час питанням якісного виконання технологічного процесу висіву пропашних культур приділяється багато уваги. Незважаючи на те, що дослідженням висівних апаратів займаються багато вітчизняних і зарубіжних вчених, дане питання розкрито недостатньо повно.

В останні роки спостерігається тенденція переходу від механічних до пневматичним висіваючих системам, в основу яких покладено принцип розподілу і транспортування насіння за допомогою повітряного потоку, або вакуумного присмоктування. Висіваючий апарат - це один з елементів сівалки, що відповідає за рівномірне дозування висіваного матеріалу і подальшу його подачу до сошникових груп. Застосування пневматичної висіваючої системи має ряд переваг - зниження відсотка пошкодження (дроблення) насіння, компенсування швидкості руху трактора і швидкості переміщення дозованого матеріалу по насіннепроводам до сошникових груп.

Обґрунтований вибір оптимальних технологічно -конструктивних параметрів і режимів роботи висівного апарату залежить від фізико - механічних і технологічних властивостей оброблюваного сільськогосподарського матеріалу. Технологічною операцією, яка має значущий вплив на якість обробітку, є висів дозованої маси. Технологічний процес висіву характеризується складним конструктивним супроводом, при цьому, він має найбільш вагомий вплив на врожайність вирощуваних сільськогосподарських культур. Глибоке дослідження і оптимізація процесу роботи посівного агрегату, а також елементів, що входять в його систему, дозволяє виявити існуючі недоліки в технологічному процесі, а також в конструкції посівного агрегату, що відкриває шляхи до вдосконалення всієї посівної системи.

# 1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

## 1.1 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур

Ефективна робота в сучасному сільському господарстві вимагає високої продуктивності посівних машин, універсального комбінування різних робочих органів в складі агрегату, а також можливості швидкого та безпечного перміщення по дорогах загального користування.

Загалом слід зазначити, що серед традиційних вимог до надійності та ефективності виробленої техніки на передній план виходять конкурентоспроможність, поєднання виконуваних операцій, універсальність і пристосованість до різних природних та виробничих умов, співвідношення ціни та якості, а також організація технічного сервісу. В сучасних умовах виробники техніки мають більше проявляти гнучкість і оперативність при задоволенні різноманітних вимог замовників.

Подальше вдосконалення посівної техніки ведеться в напрямках підвищення рівномірності доставки насіння і добрив до сошників; забезпечення заданої рівномірності їх висіву по глибині; збільшення об'ємностей для насіння і добрив, а також зменшення часу на переведення широкозахватних комплексів в транспортне положення для транспортування на великі відстані і назад - в робоче.

Незалежно від типу посівної техніки, спільною тенденцією їх вдосконалення є підвищення показників якості виконання технологічного процесу всіма агрегатами машини. Досягти цієї мети можна ретельно підбираючи тип і параметри робочих органів для кожної визначеної ґрунтово-кліматичної зони.

Серед показників сучасної сівалки, що визначалися опитуванням керівників агропідприємств, перше місце посідає якість посіву, на другому - надійність і тільки на третьому - співвідношення ціни та якості.

Головними чотирма факторами врожайності, на які можливо вплинути під час сівби є це норма висіву, відстань між рослинами в рядку, наявність двійників і пропусків і проростання.

При цьому норма висіву, як не дивно здасться багатьом, має найменше значення. Фактор відстані між рослинами, тобто, точної розкладки насіння, впливає на врожайність більше. Ще важливіше виявилася сінгуляція - відсоток двійників і пропусків. Виробники та продавці сівалок звертають велику увагу сільгоспвиробників на заходи щодо мінімізації двійників і пропусків. Однак це не найважливіше. Адже всі ці заходи забезпечують тільки рівномірність розподілу насіння по полю. Тоді як найбільше впливає на врожайність рівномірність проростання.

У цей показник входять як відсоток схожості насіння, так і рівномірність і одночасність сходів. Рівномірними і дружними вважаються сходи, отримані протягом перших 36-48 годин після посіву. Якщо якась рослина не встигає виткнутися в перші 2 доби, а велика частина сусідніх встигає, то ті, що зійшли раніше, його заглушають. А це - недобір урожайності.

Залишилося тільки розібратися в причинах нерівномірності сходів. На них пролили світло деякі досліді і аналіз даних систем точного землеробства. Наприклад, з'ясувалося, що на глибині загортання насіння, визначеної в літературі для відповідної культури в якості оптимальної, відносна вологість ґрунту коливалася від 20 до 60%, а для успішного проростання насіння вологість на глибині їх закладки повинна становити не менше 30%.

У зв'язку з цим досліді показали істотний вплив на проростання глибини загортання насіння. Наприклад, в ході одного з дослідів з'ясувалося, що насіння кукурудзи, посіяні на глибину 7,6 см, де було найбільше вологи, через певний період часу проросли майже все. За цей же час насіння, посіяні на глибину 5 см, ледь почали проростати через брак вологи. А посіяне на глибину 2,5 см так і залишилося лежати в очікуванні

дощу. Тому постійна робота агронома - це пошук «золотої середини». Тому що посієш глибоко - більше вологи, але втрачається енергія проростання. А посієш дрібно - енергія проростання буде краще, зате вологи буде не вистачати.

Також в ході одного з дослідів, проведеного в минулому році в Україні на полях компанії «Кернел», виявилось, що правильний вибір навантаження на посівну секцію має набагато більше значення для врожайності, ніж низька кількість двійників і пропусків. Наприклад, при оптимальному притискному зусилля, яке прикладається до посівної секції, і інших рівних умовах врожайність кукурудзи становила 144,5 ц / га. При максимальному притискному зусиллі, коли на сівалці, як то кажуть, закрутили все пружини, врожайність знизилася до 140,5 ц/га. А ось коли притискне зусилля зменшили до 80 кг - врожайність зменшилася до 131 ц/га. Тому низьке притискне зусилля часто не може перешкодити підйому сошника. Тим часом багато українських аграріїв сіють просапні культури легкими сівалками, де притискне зусилля не перевищує 80 кг.

Звичайно, про необхідність коригування глибини посіву або притискного зусилля залежно від ґрунтових умов знає кожен агроном. Однак на практиці не всі з сільгоспвиробників перенастроюють притискне зусилля при переїзді на поле з іншими умовами, так як не готові витратити на це по 4-5 годин з 20 годин роботи сівалки на добу навесні в сезон.

Тому в останні роки розвиток технологій точного землеробства дозволило змінювати притискне зусилля не виходячи з кабіни, причому посекційно - так само, як трохи раніше точне землеробство зробило можливим регулювання норми висіву. Але подібні технології коштують грошей. Наприклад, сучасна імпортна пропашная сівалка, оснащена всіма найсучаснішими технологіями точного землеробства, обійдеться українським аграріям в 60-90 тис. дол.

## 1.2 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву

Сучасна технологія посіву має можливість підвищити врожайність сільськогосподарських культур і покращити ефективність поля за рахунок точного дозування та розміщення насіння сільськогосподарських культур. Продуктивність сівалки залежить від визначення та використання оптимальних налаштувань для різних змінних параметрів посіву, таких як глибина посіву, тиск при притисканні та пристрій дозування насіння. Еволюція «Великих даних» у сільському господарстві сьогодні зосереджує увагу на потребі в якісних даних про посів та картографування врожайності.

Сьогодні агровиробникам необхідно максимізувати врожайність сільськогосподарських культур, щоб забезпечити зростаюче населення світу, одночасно розумно використовуючи ресурси для підтримки прибутковості. Витрати на сільськогосподарські ресурси давно почали зростати, а також виникла потреба в екологічному догляді, що вимагає від фермерів розробки більш ефективних і стійких стратегій управління. У той же час доступність глобальної системи позиціонування (GPS) для цивільних поклала початок розвитку того, що зараз відомо як точне землеробство (PA). Вказівки на основі GPS разом із картуванням урожайності були початковими технологіями, які були впроваджені на фермах із технологією змінної норми (VRT), яка з'явилася незабаром після цього. З того часу ці технології стали стандартними опціями сільськогосподарської техніки.

Багато сівалок для просапних культур оснащені гідравлічними приводами та пов'язаним дисплеєм у кабіні, що дозволяє фермерам застосовувати змінну норму висіву (VRS), якщо вони зацікавлені. Завдяки власним можливостям VRS у поєднанні зі зростаючими витратами на посівний матеріал і властивою мінливістю в полі, серед фермерів є високий інтерес скористатися VRT як засобом управління ризиками та підтримки прибутковості.

Кукурудза продовжує залишатися популярною посівною культурою. Посів є однією з найважливіших, якщо не найбільш критичних, польових

операцій протягом вегетаційного періоду для кукурудзи. Правильна популяція посіву та розміщення насіння під час посіву є важливими, оскільки вони впливають на рівномірність сходів, розвиток культури та потенційну врожайність.

Помилки при посіві впливатимуть на весь період вегетації кукурудзи; в більшості випадків негативний вплив. Насіння потребує поглинання вологи з ґрунту для проростання, причому вологість ґрунту в насінневому ложі найбільше впливає на час проростання та появи перших сходів. Сприятливі умови посіву та оптимальна продуктивність необхідні для належного проростання культури та максимізації потенційної врожайності.

Сходи кукурудзи можна визначити як стадію, на якій насіння проростає і починає виходити із ґрунту. У всьому кукурудзяному поясі загальновідомо, що для максимізації потенціалу врожайності необхідна рівномірність сходів. Попередні дослідження також підкреслили важливість ранніх і рівномірних сходів для досягнення високої врожайності. Посів вимагає розкриття ґрунту, який зазвичай називають борозною, на бажану глибину з подальшим розміщенням насіння у відкритій борозні та закриттям цієї борозни за допомогою прикочувальних коліс, встановлених на сівалці.

Однак завершення цих етапів зазвичай недостатньо, щоб отримати добре рівномірне сходження насіння, особливо на південному сході, де на одному полі може існувати висока мінливість ґрунту (наприклад, відмінності в типі ґрунту, текстурі тощо). Численні фактори, включаючи неідеальні польові умови під час посіву, зміну погодних умов протягом вегетаційного періоду та недбалість у налагодженні та експлуатації сівалки, впливають на якість сходів насіння, що ускладнює досягнення рівномірних сходів кукурудзи на південному сході.

Факторами, які найчастіше згадуються в літературі, що впливають на сходи врожаю, є властивості ґрунту (наприклад, структура та вміст вологи під час посіву), глибина борозни, в яку опускається насіння, притискна сила (визначається як величина тиску, що чиниться колесами сівалки на ґрунті).

Враховуючи високу мінливість ґрунтів, здатність постійно розміщувати насіння на бажаній глибині, зберігаючи при цьому цільову популяцію та відстань між насінням, може бути ускладненою. Сучасні дисплеї точного землеробства та можливості VRT забезпечили можливість точного моніторингу продуктивності сівалки в режимі реального часу. Однак важливим аспектом є якість даних про посадку та їх здатність точно відображати розміщення насіння в полі.

Головною темою точного землеробства в усьому світі, є «великі дані» та те, як вони розвиватимуться в сільському господарстві. Незважаючи на те, що пакети програмного забезпечення для управління даними та управління фермою існують із середини 1990-х років, все більше фермерів зацікавлені в архівуванні даних, створених фермою, на машинах і їх використанні для отримання інформації, яка може бути використана для підтримки управлінських рішень.

«Рішення, кероване даними» - це зазвичай термін для опису цього процесу. Розробка програми VRS для кукурудзи на рівні ферми вимагає кількох складових, включаючи правильну технологію РА, а також розуміння середовища вирощування на кожному полі. Це розуміння вимагає не лише інтуїції фермера, але й шарів просторових даних для створення зон управління, у яких кожна зона має унікальну норму висіву. Загальні просторові шари для розробки зон керування для посіву включають карту ґрунту, дані про висоту та карти врожайності.

У сільськогосподарській галузі карти врожайності та посіву стають все більш важливими, оскільки ці два рівні даних служать для розуміння реалізації програми VRS і здатності оцінювати її з точки зору переваг для окремого поля. Відсутність одного з цих рівнів ускладнює справжню оцінку та розуміння VRS і потенційно може створити хибнопозитивні результати для фермера. Одним із припущень будь-якого рівня даних є його якість. Неякісні дані призводять до помилкових результатів і, зрештою, до неправильних рішень. Зокрема, ці дані мають бути якісними, щоб визначити

відповідні зони для VRS кукурудзи, оскільки вони, як правило, є динамічними або переглядаються протягом кількох років, коли збирається більше даних, і вимагає розуміння того, які екологічні аспекти в полі впливають на врожайність. Попередні дослідження показали проблеми з якістю застосованих карт і їх здатністю справді відображати просторову продуктивність машини, обладнаної VRT. Таким чином, важливий компонент успіху великих даних у сільському господарстві залежить як від технології, яку застосовують фермери, так і від якості шарів просторових даних, щоб аналітика, що розробляється, могла генерувати інформацію, яку фермери могли використовувати в процесі прийняття рішень.

Це дослідження було проведено, щоб краще зрозуміти поточні можливості впровадження VRS кукурудзи на півдні. Зокрема, інтерес до VRS кукурудзи зростає, як це видно зі збільшення кількості послуг VRS, які пропонують насіннєві компанії та сторонні компанії з управління даними точного землеробства. Дані про посадку в поєднанні з картами врожайності необхідні для забезпечення правильної оцінки та точного налаштування зонального управління для підтримки VRS. Автори припустили, що висока продуктивність сівалки для точного розміщення насіння в поєднанні з точним просторовим зображенням параметрів посіву вимагається від поточної технології посіву для успішного впровадження VRS. Основною метою цього дослідження було перевірити поточну польову продуктивність технології посіву для точного розміщення насіння, одночасно розуміючи точність даних після посіву для відображення фактичної продуктивності сівалки. Конкретні цілі дослідження полягали в тому, щоб оцінити продуктивність сівалки при різних налаштуваннях глибини та притискної сили шляхом вимірювання глибини висіву насіння та досягнутих сходів в полі та вивчити поточну технологію посіву (блок дозування насіння, контролер змінної норми та відображення) для досягнення бажаної польової продуктивності під час роботи VRS.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилося протягом вегетаційного сезону 2023 року. RTK — це основна корекція GPS, яка використовували для технологій RA в ході дослідів. У цьому дослідженні використовували 6-рядну інтегровану просапну сівалку John Deere з висівними агрегатами MaxEmerge. Сівалки були обладнані стандартними зубчастими очищувачами рядків і набором твердих гумових закриваючих коліс, встановлених за дисками сошника. Налаштування очисників рядів і коліс, базувалися на переважаючих ґрунтових умовах на вибраних полях. Секції сівалки були розташовані на міжряддях 70 см. На кожній висівній секції використовувалися потужні притискні пружини, які номінально не створюють додаткової притискної сили або можуть бути розташовані так, щоб чинити 0,45, 1,11 або 1,78 кН (називаються як нульова, низька, середня та висока відповідно) додаткової притискної сили на рядок.

Керування глибиною здійснюється за допомогою регулювання T-подібної рукоятки, яка контролює висоту зупинки для направляючих коліс на кожній висівній секції. Гідравлічна система керування Trimble Rawson забезпечувала можливість змінної норми сівалки та керувалася за допомогою технології Trimble Field IQ. Трактор John Deere 8130, оснащений системою Trimble Auto-Pilot, що використовує віртуальну опорну станцію як джерело корекції RTK.

Для всіх тестів використовувався дисплей Trimble FMX із змінною нормою та функцією моніторингу посіву посіву по рядках. Дисплей Precision Planting 20/20 SeedSense також використовувався для моніторингу всіх параметрів посіву. Кожна насіннева трубка мала високошвидкісний датчик висіву Dickey-John, який забезпечував зворотний зв'язок із технологіями Trimble. Перед посівом всі поля були смугово оброблені.

Спеціальна система збору даних для сівалки була розроблена у відділі Biosystems Engineering для моніторингу та реєстрації параметрів посіву в

реальному часі. Ці параметри включали фактичну швидкість вимірювача та дані про прискорення/вібрацію висівного агрегату, просторово позначені за допомогою приймача диференціальної глобальної системи позиціонування (DGPS) для створення просторових даних для аналізу.

Швидкість висівного апарату визначали за допомогою кодера 3600 імпульсів на оберт (TRD-GK, Токіо, Японія). Приймач Raven Industries 200 був встановлений на сівалці вздовж центральної лінії рядків. Цю систему збору даних було розроблено з використанням програми National Inst. LabView та плати National Inst. USB 6245 DAQ board із частотою дискретизації 10 Гц. Розроблено інтерфейс користувача для моніторингу всіх даних посіву під час роботи в полі на ноутбучі. Дані, зібрані з цієї системи, були використані для створення карти стану посіву, що представляє справжню популяцію посівів у полі.

Було вибрано три поля для проведення двох унікальних експериментів продуктивності сівалки. Перший експеримент складався з оцінки продуктивності сівалки на 2 глибинах 25 і 51 мм і чотирьох різних налаштуваннях тиску (від відсутності до високого) для загалом восьми комбінацій посіву. Для всіх них використовували рівномірну норму висіву 65200 насінин/га та постійну швидкість руху 7,0 км/год із налаштуванням висівного апарату Precision Planting eSet meter. Було вибрано два поля з різними, але відомими властивостями ґрунту; поле 1 являло собою супіщаний ґрунт, а поле 2 — глинисто-суглинковий. Глибина посіву та параметри притискної сили (такої самої, як і притискний тиск) були факторами, обраними як основні методи обробки в цьому дослідженні. Початкова глибина посіву була встановлена шляхом регулювання Т-подібної рукоятки для налаштування глибини на сівалці з використанням налаштування 1,11 кН. Після встановлення глибини сівалки 25 та 51 мм їх використовували для кожного поля. Для кожного поля всі обробки повторювали чотири рази. Кожна реплікація містила всі вісім обробок (рис. 1) і представляла диференційовану область поля. Експеримент був

реалізований, де кожен прохід сівалки представляв окрему обробку, а обробки були випадковим чином розміщені в кожній повторності (рис. 1). Кольорові смужки представляють схему проходів сівалки в першій реплікації на рис. 1. План експерименту базувався на рандомізованому блочному дизайні, де кожна комбінація глибини посіву та притискної сили була випадковим чином призначена смузі із загалом вісьмома випадковими обробками. в кожній реплікації. Кожна смуга мала ширину (5,5 м) і довжину приблизно 485 м у шість рядів сівалки. Збір даних було організовано вздовж сітки, і визначення місця відбору проб було встановлено шляхом малювання шести трансект через кожне поле (рис. 1). Кожна смуга (різного кольору) на карті представляє окремий прохід сівалки, що складається з комбінації глибини посіву насіння та обробки притискною силою. Кожне лікування повторювалося чотири рази в межах поля таким же рандомізованим способом, як показано в першій реплікації (кольоровий малюнок онлайн).

Дані були зібрані на перетині між цими трансектами та кожним проходом, який представляв загалом 192 місця відбору проб.

Наступні дані були зібрані на кожному місці відбору проб: вміст вологи в ґрунті під час посадки, кількість рослин після повної появи сходів і фактична глибина посіву. Вміст вологи в ґрунті міряли під час посіву за допомогою датчика HydraProbe у кожному місці відбору проб і складався з однієї точки даних у кожному місці. Підрахунок насаджень проводили на ділянці довжиною 7,6 м, випадково відібраний у кожному рядку культури на місці відбору проб.

Відсоток пророслих рослин розраховували шляхом ділення підрахунку популяції на цільову норму висіву насіння на гектар. Фактичну глибину посіву вимірювали після посіву, коли кукурудза досягла стадії росту від V1 до V2. Методологія полягала у вилученні загалом 10 випадково відібраних окремих саджанців (загалом 10 з усіх чотирьох рядів) із ґрунту в межах однієї секції довжиною 7,6 м на кожній ділянці відбору та вимірювання відстані між центром насіння та ґрунтом. поверхні. Це

вимірювання було визначено як фактична глибина посіву кукурудзи порівняно з цільовою глибиною посіву для аналізу.

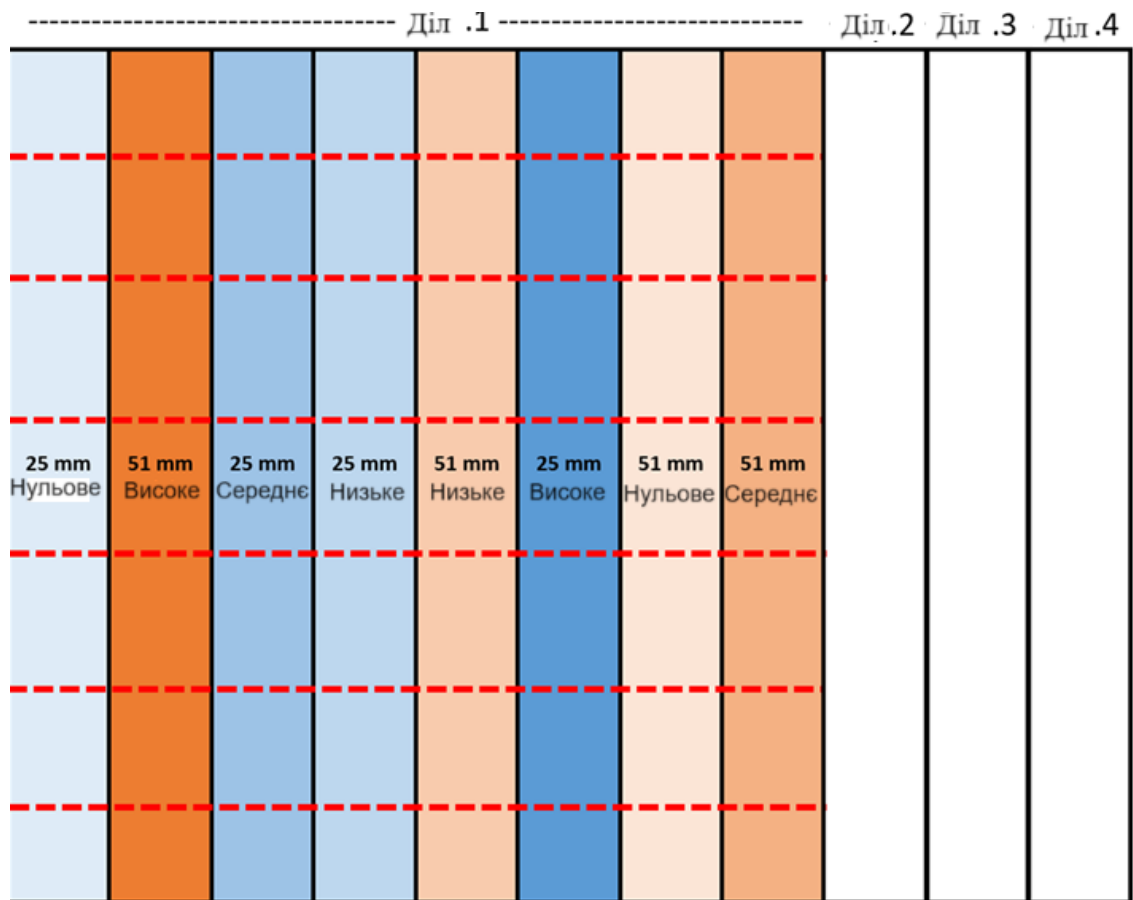


Рис. 1 - Схема поля 2 для глибини посіву за допомогою експерименту з притискною силою, що ілюструє вісім різних комбінацій обробки в першій повторності та шість трансект (червоні лінії), що представляють місця відбору проб для кожної ділянки

Другий експеримент, проведений на полі 3, був зосереджений на оцінці продуктивності сівалки під час VRS з обробками, що складаються з двох блоків дозування насіння (John Deere St. і eSet) з п'ятьма різними нормами висіву (49400, 59300, 69200, 79100 і 89000 насінин/га) і чотири обробки на швидкості руху (6,1, 7,1, 8,2 і 9,4 км/год) для загалом 20 обробок кожним висівним апаратом.

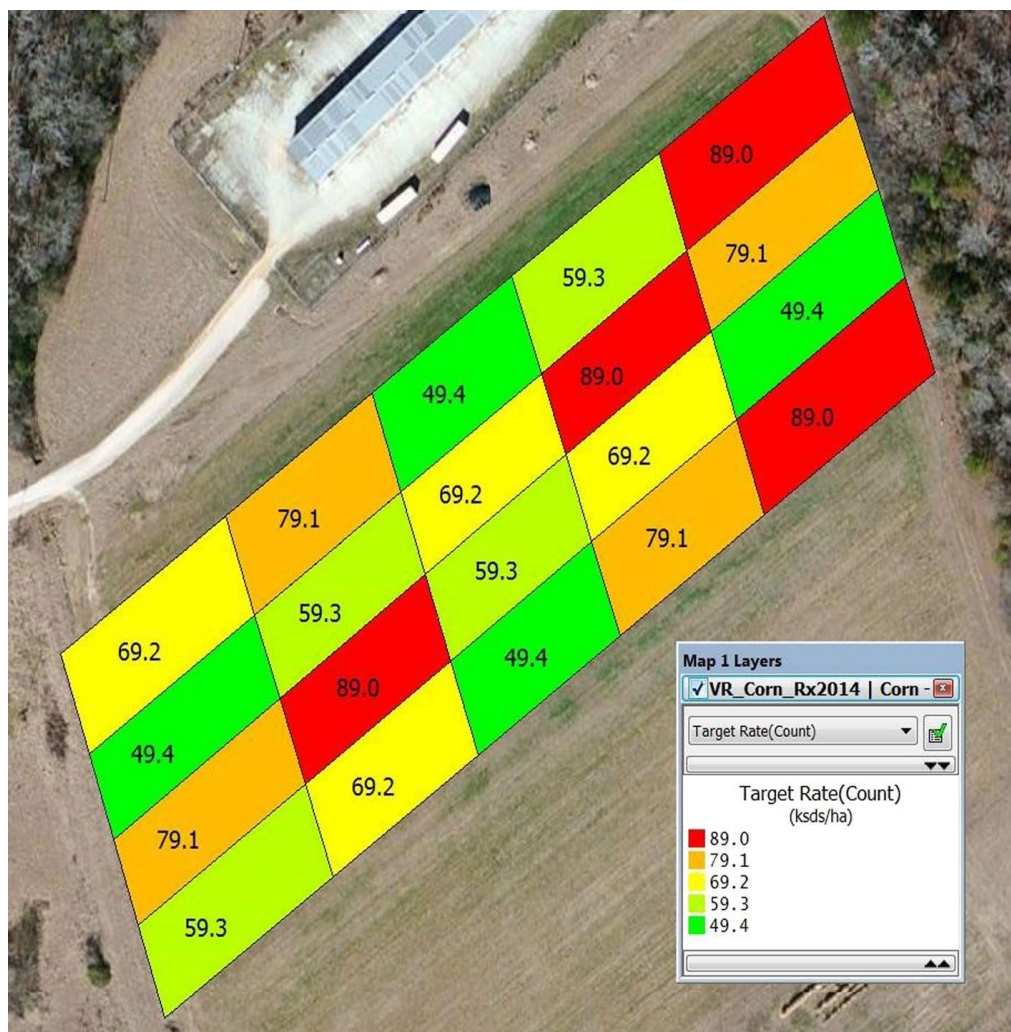


Рис. 2 - Карта висіву кукурудзи (Rx), що ілюструє норму висіву (тис. насінин/га) шляхом реплікації для поля 3

Один прохід сівалки являв собою індивідуальну обробку на швидкості руху (основна обробка) із зміною норм висіву (роздільна обробка) у межах швидкості руху. Карти призначень для посіву (Rx) були створені в програмному забезпеченні AgLeader SMS Advanced software та експортовані для відповідного типу відображення. На рисунку 2 представлена карта із нормами висіву, рандомізованими в тому самому порядку в кожній реплікації. Усі процедури були рандомізовані та повторені чотири рази, загалом 20 процедур. Випробування було реалізовано як стріп-спліт-схема ділянки в полі. Ділянки мали ширину 5,5 м (один прохід 6-рядної сівалки) і 53,3 м завдовжки.

Таблиця 1 - Швидкості висівного апарату (об/хв), що відповідали різним швидкостям руху та нормам висіву (на основі міжряддя 70 см)

Швидкість руху, км/год	Цільва норма висіву, насінин/га	Швидкість висівного апарату, об/хв
6.1	49400	15.4
	59300	18.5
	69200	21.6
	79100	24.6
	89000	27.7
7.1	49400	17.8
	59300	21.4
	69200	25.0
	79100	28.5
	89000	32.1
8.2	49400	20.7
	59300	24.8
	69200	28.9
	79100	33.1
	89000	37.2
9.5	49400	23.9
	59300	28.7
	69200	33.5
	79100	38.2
	89000	43.0

Обробки впроваджувалися шляхом досягнення бажаної швидкості руху перед входом на ділянку та підтримки тієї самої швидкості руху під час висіву всіх обробок нормою висіву в межах цієї смуги. Крім того, було розраховано швидкість висівного апарату (в обертах за хвилину; об/хв), що відповідає різним комбінаціям швидкості руху та норми висіву (табл. 1), використовуючи міжряддя 70 см, оскільки швидкість висівного апарату є функцією швидкості руху, норми висіву, і міжряддя. У центрі кожної ділянки збирали дані про відстань між рослинами в чотирьох середніх рядах (ряди 2 і 3 для вимірювача John Deere St. і ряди 3 і 4 для вимірювача eSet) після появи сходів шляхом вимірювання відстані між рослинами протягом 50 послідовних рослин у кожному ряду. Зовнішні два ряди (ряди 1 і 6)

залишали як буфер на кожній ділянці. Загальна відстань для цих 50 послідовних рослин у кожному ряду була записана, і популяція рослин (рослини/га) для кожного ряду була розрахована шляхом ділення 50 рослин на обчислену площу (виміряна відстань  $\times$  ширина ряду). Відсоток появи сходів розраховували шляхом ділення вимірної популяції рослин на цільову норму висіву на кожній ділянці.

Середню відстань між рослинами та стандартне відхилення використовували для розрахунку коефіцієнта варіації (CV%) для оцінки рівномірності між рослинами в рамках посіву. Низьке значення CV означає рівномірну відстань між рослинами і переважно бажано для посіву просапних культур. У місці кожного проходу, де відбувався перехід норми висіву, місце (задокументоване за допомогою портативного пристрою GPS) із довжиною над чотирма центральними рядами для зміни норми вимірювалося за допомогою рулетки з точністю до 0,25 см. Оскільки шляхова швидкість була постійною за один прохід, ці вимірювання відстані були перетворені на час для зміни швидкості. Дані після посіву, що складаються з популяції рослин, також були записані за допомогою доступного дисплея VR на тракторі для обох досліджень і проаналізовані для порівняння продуктивності сівалки на основі фактичних польових даних.

Усі дані були узагальнені в Microsoft Excel. Для першого експерименту цільову глибину посіву та притисну силу розглядали як основні змінні, а сходи культури та вимірну глибину посіву розглядали як змінні реакції. Двосторонній дисперсійний аналіз проводився з використанням програмного забезпечення для статистичного аналізу SAS для визначення впливу основних методів впливу на змінні відповіді та наявності будь-якої взаємодії між основними методами впливу. Для другого експерименту швидкість висівного апарату в обертах за хвилину (об/хв) використовувалася як змінна посіву для одностороннього аналізу з відсотком появи та CV як змінними відповіді.

Оскільки швидкість дозатора є функцією швидкості руху та норми висіву, які були реалізовані в плані розділеної ділянки в полі, під час статистичного аналізу використовувалися відповідні терміни похибки, що враховували цей експериментальний план. Дані про час переходу, зібрані під час дослідження VR, також аналізували за допомогою аналізу з урахуванням швидкості руху та норми висіву як основних обробок, а також часу переходу як змінної відповіді. Усі статистичні порівняння проводилися на рівні значущості 95% із значенням альфа 0,05.

## 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Дослідження глибини посіву та притискної сили

Перше дослідження, зосереджене на притискній силі сівалки та глибині посіву, дало зрозуміти, як ці два налаштування сівалки впливають на кінцеву глибину посіву. Слід пам'ятати, що на традиційних просапних сівалках ці параметри зазвичай встановлюються один раз і не змінюються оператором для всього поля або кількох полів. Зазвичай ці параметри змінюються лише під час посіву, якщо польові умови значно змінюються. У таблиці 2 подано зведення загального середнього вмісту вологи в ґрунті, глибини посіву та появи сходів для полів 1 і 2. Статистичний аналіз показав значні відмінності у вмісті вологи в ґрунті ( $p < 0,0001$ ), глибині загортання насіння ( $< 0,0001$ ) і сходах ( $p = 0,0270$ ) між полями 1 і 2. Відмінності у значеннях вмісту вологи для полів 1 і 2 вказують на значну мінливість вологості між двома полями. Поле 1 було відносно сухим, про що свідчить низький вміст вологи в ґрунті, ніж поле 2. Дані показали, що поле 1, як правило, висаджували трохи мілкіше, ніж поле 2, оскільки глибина посіву (39 мм), отримана на полі 2, була відносно глибшою за глибину посіву (35 мм) на полі 2. Це можна пояснити мінливістю вологості між двома полями, оскільки можна очікувати малу глибину посіву насіння в умовах сухого ґрунту з подібною установкою сівалки. Загальна варіація глибини посіву була відносно невеликою на кожному полі зі стандартними відхиленнями 7 мм або менше. Загальна середня кількість сходів урожаю на двох полях значно відрізнялася, хоча врожай на полі 1 був лише на 1% нижчим, ніж на полі 2. Показник сходів у 95–96% був досить добрим для типів ґрунту на цих полях, але нижчим, ніж у попередніх дослідженнях, зосереджених на кукурудзі, яка здебільшого зійшла між 96% і 99%. Низькі стандартні відхилення від 4 до 5% для сходів на обох полях вказують на досить рівномірне сходження на кожному полі.

Таблиця 2 - Загальна середня вологість ґрунту, глибина посіву та сходи для полів 1 і 2

Поле	Вологість, %	Визначена глибина посіву, мм	Схожість, %
1	15	35	95
2	26	39	96

Таблиця 3 - Результати дисперсійного аналізу, що показують р-значення для глибини посіву та сходів для основних факторів глибини, притискної сили та їх взаємодії для полів 1 і 2

Поле	Впливи	Глибина посіву	Схожість
1	Задана глибина	<0,0001	<0,0001
	Притискна сила	0,0094	0,2650
	Глибина x сила	0,4394	0,1298
2	Задана глибина	<0,0001	0,4123
	Притискна сила	0,0129	0,0765
	Глибина x сила	0,2643	0,0685

Таблиця 4 - Підсумок середньої глибини посіву та значень сходів для основної обробки (глибина посіву та притискна сила) для полів 1 і 2

Показник	Значення	Поле 1		Поле 2	
		Глибина посіву, мм	Схожість, %	Глибина посіву, мм	Схожість, %
Глибина посіву, мм	25	32	93	37	96
	51	39	97	41	96
Притискна сила	Нульова	33	94	37	96
	Низька	36	95	39	95
	Середня	36	95	40	96
	Висока	37	96	40	97

Результати дисперсійного аналізу для основних ефектів цільової глибини, притискної сили та взаємодії глибина × притискна сила для полів 1 і 2 представлені в таблиці 3. Статистичний аналіз показав, що на кінцеву

глибину посіву істотно вплинула ( $p < 0,0001$ ) глибина посіву насіння і притискна сила в обох полях. Сходження значно відрізнялося для цільової глибини посіву на полі 1, але не на полі 2. Для обох полів притискна сила не мала істотного впливу ( $p > 0,05$ ) на сходи. Взаємодія глибина  $\times$  притискна сила була визначена як незначуща ( $p > 0,05$ ) і не вплинула на кінцеву глибину посіву та появу сходів на полях 1 і 2. У таблиці 4 подано зведення середньої кінцевої глибини посіву та значень сходів за кожною основною обробкою (цільова глибина та притискна сила) окремо для полів 1 і 2.

Для обох полів остаточна глибина посіву мала тенденцію бути вищою для цільової глибини посіву 25 мм і меншою для цільової глибини посіву 51 мм. Для поля 1 сходи (93%), досягнуті на глибині посіву 25 мм, були значно нижчими, ніж сходи (97%), досягнуті на глибині посіву 51 мм, що свідчить про зниження сходів культури на меншій глибині посіву в цьому полі.

Середня схожість, досягнута на полі 2, становила 96% для обох глибин посіву 25 і 51 мм. Для обох полів кінцева глибина посіву мала тенденцію до збільшення із застосуванням притискної сили, причому більша глибина посіву досягалася за високих налаштувань притискної сили.

Однак статистичний аналіз показав, що значні відмінності в глибині посіву існували лише між обробкою без притискної сили та всіма іншими обробками з притискною силою. Хоча така низька притискна сила або її відсутність зазвичай не використовується виробниками для посіву кукурудзи на південному сході, проте вплив притискної сили на глибину посіву, особливо при нижчих значеннях притискної сили, вказує на мінімальну вимогу до притискної сили (від нуля до низького) для посіву кукурудзи, де можна очікувати великі зміни глибини посіву в полі, якщо не підтримувати вище цього мінімального значення.

Кінцева глибина посіву істотно не відрізнялася між налаштуваннями притискної сили (низька, середня та висока), що свідчить про відсутність впливу притискної сили на глибину посіву.

Для поля 1 схожість, здавалося, зростала зі збільшенням притискної сили, але суттєвих відмінностей між значеннями при різних налаштуваннях притискної сили не було. Вона відрізнялася між низькою та високою притисковою силою для поля 2, при цьому висока притискна сила продемонструвала вищий загальний показник схожості 97%, хоча значення статистично не відрізнялися одне від одного. Це можна пояснити тим фактом, що більша притискна сила, можливо, забезпечила кращий контакт насіння з ґрунтом для типу ґрунту та переважаючих ґрунтових умов на цьому полі, які сприяли більшій появі сходів.

Підсумовуючи, налаштування глибини та притискної сили суттєво вплинули на кінцеву глибину посіву, але результати цього дослідження вказують на складність підтримки цільової глибини посіву кукурудзи при використанні лише одного налаштування глибини та притискної сили. Результати можуть значно відрізнятися залежно від ступеня мінливості ґрунту на полі.

Додатковий результат даних полів 1 і 2 включав, що одним із основних факторів, що стимулюють появу сходів, був вміст вологи в ґрунті. Крім того, наявність великої мінливості вологості ґрунту в полі може вплинути на сходи врожаю разом із впливом через неправильний вибір глибини та притискної сили під час посіву. Ця інформація підсилює потребу не тільки розуміти процеси, що відбуваються під час сівби, але й розробляти технології, які дозволять краще керувати цією мінливістю та покращити ефективність сівби. Здатність розміщувати насіння на цільовій глибині посіву та в правильній популяції гарантує наявність максимального або майже максимального потенціалу врожайності з 1-го дня, коли насіння поміщено в ґрунт.

### **3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою**

Результати дисперсійного аналізу для дослідження посіву VR показали, що відстань між рослинами суттєво різнилася ( $p < 0,0001$ ) для

різних швидкостей висівного апарата John Deere Standard і Precision Planting eSet meter (Таблиця 5).

Цей результат був очікуваним, оскільки на відстань між рослинами впливала норма висіву, яка впливає на швидкість висівного апарата. Для висівного апарату Precision Planting eSet на CV значно впливала його швидкість ( $p = 0,0021$ ), тоді як швидкість висівного апарату не впливала на CV для JD Standard. Статистичний аналіз також показав відсутність суттєвих відмінностей ( $p > 0,05$ ) у сходах культур для різних швидкостей висівного апарата, що вказує на відсутність впливу швидкості висівного апарата на появу сходів для обох висівних апаратів. У таблиці 6 наведено підсумкові дані про середню відстань між рослинами, CV і проростання для різних частот обертів, досягнутих під час польових випробувань.

Таблиця 5 - Результати дисперсійного аналізу, що показують р-значення для інтервалу між насінням, CV і сходів зі швидкістю висівного апарату як основним фактором

Висівний апарат	Головний фактор	Інтервал в рядку	CV	Схожість
JD standard	Частота обертів	<0,0001	0,0959	0,1698
PP eSet	Частота обертів	<0,0001	0,0021	0,2152

Вимірjana відстань між рослинами була в межах 2–13 мм від цільової відстані для висівного апарату JD Standard і в межах 2–11 мм для eSet. Вимірjana відстань між рослинами відрізнялася для різних швидкостей висівного апарата через той факт, що швидкість висівного механізму є функцією норми висіву та швидкості руху, і будь-які зміни в нормі висіву впливають на цільову відстань між насінням за заданої швидкості руху. Для обох апаратів висіву загальна тенденція полягала в тому, що значення CV зростали зі збільшенням швидкості висівного апарата, однак суттєвих відмінностей між значеннями CV на різних швидкостях висівного апарата John Deere Standard не було.

Таблиця 6 - Зведені дані про відстань між рослинами, коефіцієнт варіації (CV %) і появу сходів (%) за швидкістю висівних апаратів John Deere St. і eSet

Швидкість висівного апарату (об/хв)	Цільовий інтервал, мм	John Deere standard			Precision planting eSet		
		Інтервал між росл., мм	CV, %	Схожість, %	Інтервал між росл., мм	CV, %	Схожість, %
15.4	221	227	26.1	98	227	21.2	97
17.8	221	226	27.1	98	227	227	97
18.5	184	188	29.6	98	195	29.8	94
20.7	221	231	27.9	96	229	25.8	97
21.4	184	190	26.8	97	193	27.2	96
21.6	158	163	29.1	97	165	26.8	96
23.9	221	223	26.2	99	229	29.2	97
24.6	138	141	28.0	98	144	27.4	96
24.8	184	191	29.5	96	193	25.8	96
25.0	158	163	31.2	97	164	26.8	97
27.7	123	129	33.3	96	130	32.6	94
28.5	138	145	31.6	96	145	30.7	96
28.7	184	190	31.5	98	195	30.0	95
28.9	158	169	37.8	94	162	26.3	98
32.1	123	129	34.0	95	130	31.1	94
33.1	138	142	30.4	97	146	30.0	95
33.5	158	171	36.1	93	164	24.7	96
37.2	123	129	34.8	95	131	33.3	94
38.2	138	145	34.7	96	147	33.8	95
43.0	123	130	36.4	94	131	32.9	94

Обчислені значення CV для Precision Planting eSet були в середньому нижчими, ніж значення CV для John Deere Standard. Значення CV становили 31,2% або вище для швидкості висівного апарату понад 25 об/хв для установки John Deere з максимумом 36,4% вище цього об/хв. CV для висівного апарату eSet був лише вищим за 31% зі швидкістю понад 28,5 об/хв з максимумом 33,8%.

Для висівного апарату Precision Planting eSet значення CV, що спостерігалися при швидкості 27,7, 37,2, 38,2 і 43,0 об/хв, значно відрізнялися від CV, досягнутого при найнижчій швидкості 15,4 об/хв. Цей результат вказує на те, що однорідність між рослинами погіршується зі збільшенням швидкості висівного апарату.

Лабораторне випробування цих апаратів на випробувальному стенді перед посівом продемонструвало, що продуктивність висівного апарату може різко погіршуватися при вищих частотах обертів (> 38 об/хв) для обох моделей.

Загальна поява сходів для обох висівних апаратів становила від 93% до 99%, причому деякі з найнижчих значень проростання (93–95%) спостерігалися при швидкості висівного апарата 32,1, 37,2 і 43,0 об/хв для обох моделей. Обидва дозатори насіння забезпечили порівнянне проростання сходів без особливої тенденції, що спостерігалася у значеннях схожості зі збільшенням швидкості висівного апарату.

Таблиця 7 - Середній час зміни норми висіву для кожної швидкості руху

Швидкість руху, км/год	Час зміни норми висіву, с
6,1	1,0
7,1	0,9
8,2	0,7
9,5	0,8

Таблиця 8 - Середній час зміни норми висіву на основі величини зміни норми

Величина приросту/зменшення зміни норми (насінин/га)							
-39540	-29650	-19770	-9880	9880	19770	29650	39540
Час зміни норми висіву, с							
1.0	0.8	0.8	0.8	1.0	0.9	0.8	0.7

Позитивні значення переходу швидкості вказують на збільшення швидкості, а негативні – на зменшення. Значення в дужках представляють стандартне відхилення в s. Значення з однаковими літерами суттєво не відрізняються ( $\alpha = 0,05$ )

Результати показали, що на рівномірність між рослинами та появу сходів не впливала швидкість висівного апарата для обох вимірювачів насіння, за винятком значень CV на найнижчій швидкості висівного апарата (15,4) і трьох високих швидкостях висівного апарата (37,2, 38,2 і 43,0) для вимірювача Pr. Planting eSet. .

Результати VRS у полі 3 показали, що відстань для зміни норми висіву (наприклад, відстань переходу) становила 2,0 м або менше, незалежно від величини зміни норми. Перетворення значень відстані в секунди показало, що час відгуку для системи змінної норми висіву для зміни норми висіву був близьким до 1,0 с або менше, незалежно від швидкості руху. Не було виявлено істотної різниці між часом зміни швидкості для кожної швидкості руху (Таблиця 7).

Єдина спостережена невелика тенденція полягала в тому, що час зміни швидкості зменшувався при більшій швидкості руху, що має сенс, оскільки відстань, виміряна в полі для зміни швидкості, була однаковою для різних обробок швидкості руху. Спостерігаючи за величиною збільшення або зменшення швидкості на межах зони управління (табл. 8), час переходу був дуже послідовним (0,7–1,0 с) незалежно від величини зміни швидкості. Дані не показали впливу швидкості руху та величини зміни швидкості (незалежно від збільшення чи зменшення) на час переходу. Це вказує на те, що технологія VRS, використана в дослідженні, вважається швидкою та послідовною. Ця функція дуже бажана для сівалки VR, оскільки швидкий час відгуку мінімізує помилки зміни норми між зонами керування.

Для порівняння даних про посів було згенеровано дві фігури, щоб вказати на відмінності між фактичними даними про посадку та картою приписів (рис. 3) і картою про посадку, згенерованою на дисплеї VR (рис.

4). Одна примітка щодо фактичних даних після посадки (рис. 3b, 4b) полягає в тому, що посів VR не проводився під час першого проходу через помилку оператора, тому дані першого проходу були пропущені для цього аналізу. Порівняння даних після посадки на рис. 3 показало, що існувала затримка між моментом зміни норми та межею зони управління.

Напрямок руху, зі сходу на захід чи із заходу на схід, породжував різні відстані затримки, причому із заходу на схід було близько половини. Середня відстань затримки на проходах із заходу на схід становила 3,8 м з максимумом 5,5м на одному переході, тоді як зі сходу на захід становила в середньому 7,7 м і максимум 13 м. Під час індивідуального проходу дистанція затримки була постійною. Цю затримку можна виправити за допомогою функції перегляду вперед на дисплеї, але вона повинна бути відома оператору, щоб її точно налаштувати.

Карта посадки (рис. 4b), створена в результаті збору даних, підтверджує наведені вище результати у швидкому переході швидкості (різкі зміни кольору) порівняно з картою, згенерованою на дисплеї (рис. 4a). Порівняння між Rx і фактичною картою посіву (рис. 3) показує, що як тільки цільова популяція була досягнута технологією VRS, продуктивність була хорошою принаймні для досягнення цільової популяції до наступної зміни норми.

Також існували відмінності між розрахунковою популяцією застосовуваних або висаджених культур на деяких територіях. Однак, хоча існували глобальні тенденції між фактичними та відображуваними картами «як посаджено» (подібні кольорові області між двома картами), як це спостерігалось на рис. 4, проілюстровані відмінності між цими шарами вказували на те, що багатокутники були усередненими значеннями.

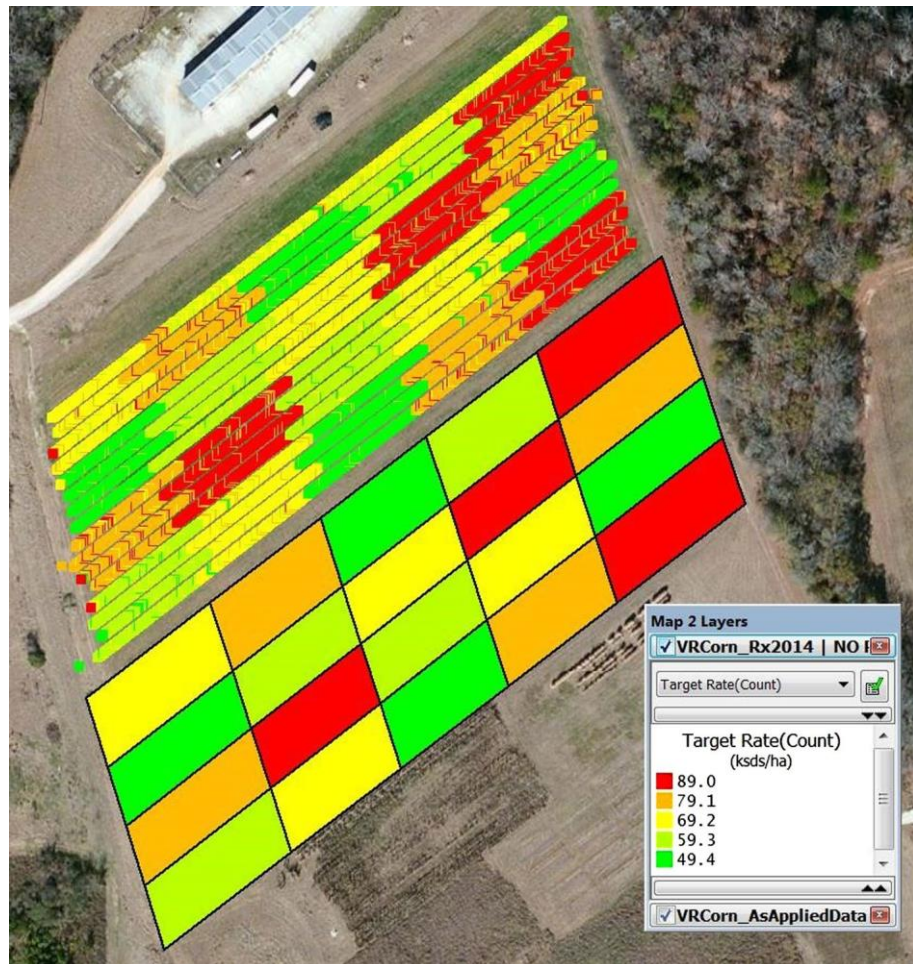


Рис. 3 - Паралельне порівняння між (а) картою завданням (Rx) і (б) фактичною картою посіву, згенерованою системою збору даних

Це викликає занепокоєння, тому що, хоча глобальні тенденції (максимальні та низькі) щодо оціненої популяції посівів, як правило, існували, карта не надає справжньої просторової інформації про продуктивність популяції сівалок, як це відображено на фактичній карті посадки. Було відмічено, що жодна з карт посіву (рис. 3b, 4b) не містить детальних відомостей про те, коли фактично відбулися зміни норми, що вказує на те, що ці карти не відображають фактичні посіви (норми) на полі, що ускладнює визначення виконувати будь-які налаштування або налаштування на ходу в рамках технології VRS. Таким чином, існувала невідповідність між зворотним зв'язком на дисплеї та отриманими даними про посадку, що, швидше за все, було пов'язано з процедурами усереднення та просторовим представленням (наприклад, багатокутником) у технології

VRS. Потрібне подальше дослідження, щоб зрозуміти якість даних про посадку, створених іншими дисплеями, але ці результати підкреслюють, що для впровадження та підтримки VRS потрібні більш детальні карти високої роздільної здатності. Якісні дані після посадки, що відображають помітні деталі продуктивності сівалки, будуть найбільш необхідними для посадкового обладнання для застосування VR-посіву, особливо в областях, де мінливість ґрунту в полі може бути значною.

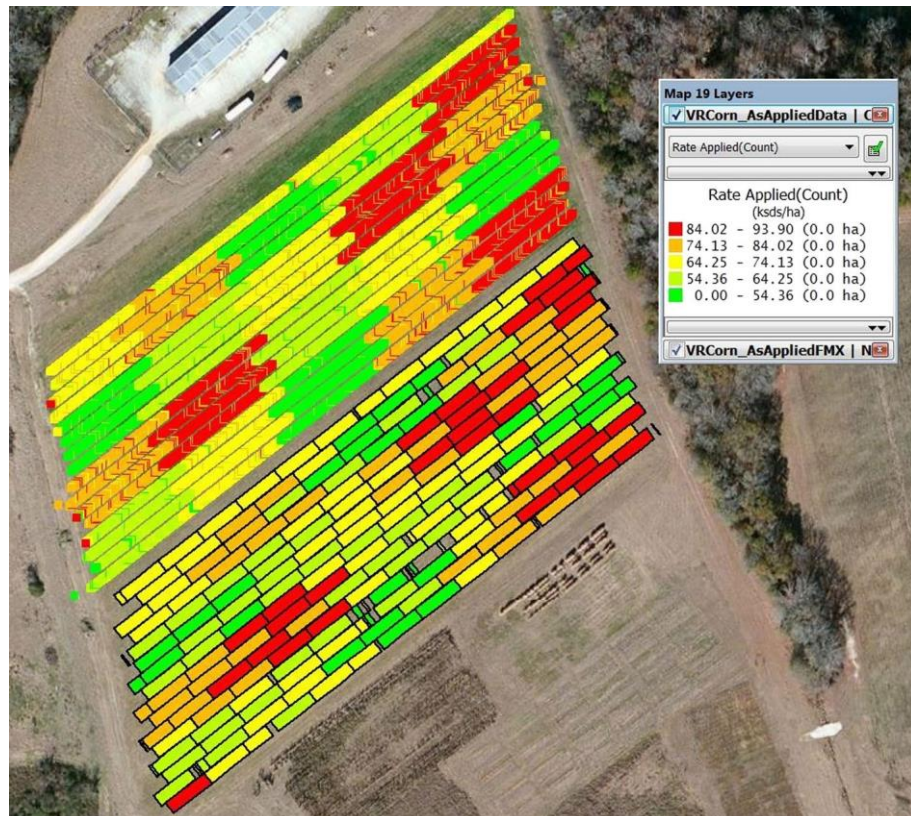


Рис. 4 - Паралельне порівняння між (а) даними посіву, згенерованими на дисплеї віртуальної реальності в кабіні (багатокутне представлення), та (б) фактичною картою посіву, згенерованою системою збору даних (точкове представлення)

Підводячи підсумок, хоча ці експерименти представляють лише один вегетаційний сезон, вони підкреслюють вплив регульованих параметрів сівалки, які впливають на кінцеву популяцію, відстань між рослинами та, зрештою, на появу рослин. Ці параметри необхідно ретельно враховувати в рамках програми VRS, оскільки продуктивність сівалки важлива для реалізації такого типу стратегії посіву. Результати свідчать про складність

використання лише однієї установки сівалки на різних типах ґрунту для підтримки цільової глибини посіву кукурудзи, що призвело до варіацій глибини посіву на одному полі.

Фактична глибина посіву залежала від налаштування глибини сівалки та притискної сили, що має сенс, але операторам важко керувати під час переміщення між полями або особливо в межах окремого поля. Відсутність деталізації цих параметрів може спричинити помилки норми висіву, варіації глибини посіву та відхилення в інтервалі між насінням у межах зон висіву, таким чином зводячи нанівець мету VRS та здатність належним чином оцінити програму VRS. Впровадження технології змінної глибини посіву в новітню сівальну техніку в найближчому майбутньому вимагає, щоб бажана глибина посіву підтримувалася без жодних або мінімальних варіацій шляхом забезпечення правильного налаштування глибини та притискної сили та виконання польової перевірки цих налаштувань.

Технологія змінної норми вдосконалювалася з роками завдяки технології, доступній для швидкої зміни ставки сьогодні. Це дослідження показало швидкий час реакції контролера швидкості для здійснення переходів швидкості, тоді як відображення застосованої карти показувало затримку переходів на кордонах зони керування, яка була різною залежно від напрямку руху. Цю різницю можна виправити за допомогою функції прогнозування в налаштуваннях дисплея в кабіні, щоб перенести зміну швидкості до межі зони керування. Незважаючи на те, що продуктивність сівалки через поточні дисплеї РА, що відображають популяцію, кількість сингуляцій та інші параметри посіву в реальному часі, допомогла покращити якість посіву. Однак спеціалісти, що надають послуги VRS, повинні знати про правильне налаштування сівалки та технології, а головне про їх обмеження, щоб забезпечити успіх впровадження, а також належну оцінку. Якість даних про посадку є життєво важливою, оскільки у сільському господарстві розвивається технологія Big Data. Результати цього дослідження підкреслюють необхідність удосконалення шарів даних після

посадки, щоб вони точно відображали параметри посіву в полі, такі як кінцева популяція.

Можливо, буде необхідно, щоб дані про посів надали більше інформації, ніж просто популяція, для підтримки VRS кукурудзи через високу мінливість у полі. Потрібна якість даних про посіви, оскільки фермери покладаються на послуги керування даними, щоб допомогти прийняти рішення щодо вхідних ресурсів і керування машинами. Точне документування факторів, які впливають на сходи, таких як норма висіву, відстань між насінням і глибина за допомогою даних про посів, допоможе забезпечити прийняття правильних рішень під час оцінки VRS або інших випробувань, пов'язаних із кукурудзою.

## ВИСНОВКИ

Дослідження було спрямоване на вивчення продуктивності сівалки в полі для точного розміщення насіння та досягнення бажаного інтервалу між насінням і цільової популяції рослин для підтримки VRS кукурудзи за поточної технології посіву. Своєчасна та рівномірна поява сходів, низькі варіації глибини посіву, висока рівномірність між рослинами, швидкі зміни швидкості та детальна карта після посіву, що відображає справжнє польове застосування, — усе це показники високої продуктивності сівалки в полі та дуже бажані для сучасна технологія посадки для виконання ВРС. Результати цього дослідження показали, що на остаточну глибину посіву кукурудзи впливали як налаштування глибини сівалки, так і притискна сила, яка застосовувалася до коліс. Кінцева глибина посіву істотно відрізнялася від цільової глибини як для полів 1, так і для полів 2, які використовувалися в дослідженні. Для обох полів остаточна глибина посіву була вищою за цільову глибину посіву 25 мм, тоді як кінцева глибина посіву була меншою за цільової глибини посіву 51 мм.

На появу сходів вплинула цільова глибина посіву на полі 1, але не спостерігалось такого впливу на сходи як для глибини, так і для притискної сили на полі 2. Сходження культур значно відрізнялося між двома глибинами посіву на полі 1, але не на полі 2. коливався від 94% до 97% для обох полів, незалежно від обробки притискною силою. У полі 3, де було реалізовано VRS, час переходу між змінами швидкості становив менше 1,0 с, незалежно від величини зміни швидкості. Не існувало жодних тенденцій щодо часу зміни норми висіву, як швидкість руху, так і норма висіву вказують на швидку та стабільну роботу VRT, що використовується на цій сівалці.

Однак спостерігалася затримка або відставання під час зміни швидкості під час перетину межі зони управління, яка змінювалася залежно від напрямку руху. Середня затримка склала 7,7 м під час руху зі сходу на

захід проти 3,8 м у напрямку захід-схід. Таким чином, слід використовувати правильні налаштування сівалки та дисплея, включаючи визначення розташування GPS відносно висівного приладу та введення правильного часу наперед на дисплеї. Неправильне налаштування може вплинути на кінцеву популяцію кукурудзи, і зміни норми можуть початися до або після бажаної межі зони керування.

Два різних висівних агрегати, використані в дослідженні VR, забезпечили порівнянну продуктивність з точки зору розподілу насіння, CV і сходів на різних швидкостях висівача. Відстань між рослинами CV збільшувалася зі збільшенням швидкості висівного апарата, але не спостерігалось суттєвого впливу швидкості висівного апарата на CV і сходи для обох висівних вимірювачів, за винятком значення CV на найнижчій швидкості висівного апарату 15,4 об/хв та значень на швидкості висівного апарату 37,2, 38,2 і 43,0 об/хв для вимірювача Precision Planting eSet.

Значення проростання варіюються від 94 до 99% для John Deere St. і від 94 до 98% для вимірювача Precision eSet. Хоча вплив швидкості висівного механізму на рівномірність між рослинами не було статистично підтверджено в дослідженні, якість дозування насіння може погіршуватися незалежно від типу висівного апарату при вищих швидкостях висівного апарата, причому цей аспект іноді не чітко вказується на картах посіву.

Дослідження висунуло гіпотезу про те, що сучасна технологія посіву повинна забезпечувати детальні просторові карти, які відображають фактичні параметри посіву в полі. Однак карти стану посіву з двох комерційних систем надавали загальне представлення популяції сівалок по всьому полю, але не відображали правильного розташування змін норми та не враховували фактичну продуктивність сівалки з точки зору популяції, глибини посіву, або відстані між рослинами.

Дослідження рекомендує операторам забезпечити правильні налаштування сівалки та дисплея, щоб досягти бажаної продуктивності розміщення насіння для підтримки VRS.

Підсумовуючи, запровадження VRS у кукурудзі потребує врахування налаштувань сівалки VR та технології для підтримки бажаної глибини посіву та забезпечення правильної кінцевої популяції, тоді як дані після посіву мають бути покращені та, можливо, включати інші параметри, такі як притискна сила та глибина посіву.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Схожість насіння як один із важливих показників [Електронний ресурс] // syngenta.ua. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.syngenta.ua/news/novini-kompaniyi/shozhist-nasinnya-yak-odin-iz-vazhlyvih-pokaznikiv>.
2. Чому необхідно перевіряти схожість насіння перед посівом [Електронний ресурс] // Головне управління Держпродспоживслужби в Черкаській області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.cherk-consumer.gov.ua/hromadianam/upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/novyny-upravlinnia-fitosanitarnoi-bezpeky/1965-chomu-neobkhidno-pereviriaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Полторецький С. П. Оцінка залежності врожайності і показників якості насіння проса залежно від строку та способу сівби / С. П. Полторецький, Н. М. Полторецька. // ВІСНИК Полтавської державної аграрної академії. – 2019. – №4. – С. 29–31.
4. Радіонов Д. Якість висіву соняшнику 94%, або Tempo F — сівалка, яку потрібно розуміти [Електронний ресурс] / Д. Радіонов // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-sonyashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.
5. Котигора О. Вплив строків та норм висіву на урожайність соняшника [Електронний ресурс] / О. Котигора // СуперАгроном. – 2021. – Режим доступу до ресурсу: <https://superagronom.com/articles/484-oleksandr-kotigora-vpliv-strokov-ta-norm-visivu-na-urojajnist-sonyashnika>.
6. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати дослідження 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. Посів соняшнику на міжряддя 12,5 см [Електронний ресурс] // Агробізнес сьогодні. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://agro-business.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/2355-posiv-soniashnyku-na-mizhriaddia-12-5-sm.html>.
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/](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-polovyyh-kultur/](http://vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyyh-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. Васильченко В. Фактори, які визначають якість сівби [Електронний ресурс] / В. Васильченко, В. Опалко // Агроном. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.agronom.com.ua/factory-yaki-vyznachayut-yakist-sivby/>.

17. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньош, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.

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. Zubko V., Sirenko V., Kuzina T., Onychko V., Sokolik S., Roubik H., Koszelg M., Shchurh T. (2022) Modelling wheat grain flow during sowing based on the model of grain with shifted center of gravity. Agricultural Engineering, Vol. 26 , No 1 , pp. 25-37 DOI: 10.2478/agriceng-2022-0003.

21. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.

22. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с.

23. Павлюк І. Вимоги охорони праці при проведенні посівних робіт [Електронний ресурс] / І. Павлюк // Охорона праці і пожежна безпека. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://oppb.com.ua/content/vymogy-ohorony-praci-pry-provedenni-posivnyh-robit>.

24. Безпека працівника під час весняно-польових робіт першочергове завдання роботодавця [Електронний ресурс] // Управління держпраці у хмельницькій області. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <http://km.dsp.gov.ua/news/572-bezpeka-pracvnika-pd-chas-vesnyano-polovih-robt-pershochergove-zavdannya-robotodavcya.html>.

25. Тарельник Н.В. Методичні вказівки до виконання розділу: «Техніко-економічне обґрунтування» магістерської роботи 2м курсу спеціальності 208 Агроінженерія денної і заочної форм навчання . – Суми: СНАУ, 2020. – 26 с.

# Додатки