

**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 застосування елементів систем  
точного землеробства при посіві кукурудзи»

Виконав:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Литвиненко С.О.

(Прізвище, ініціали)

Група:

СТЗ 2301-2м

(Науковий) керівник:

\_\_\_\_\_ (підпис)

Харченко Ф.М.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 43 сторінках 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.....	16
3 Аналіз результатів досліджень.....	24
3.1 Дослідження глибини посіву та притискової сили .....	24
3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою .....	28
Висновки.....	37
Список використаних джерел.....	40

## 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**

Якість посіву є одним із ключових чинників, що безпосередньо впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Від точності та рівномірності посіву залежать умови росту рослин, рівень конкуренції між ними та їх здатність максимально використовувати ґрунтові ресурси. Недоліки у процесі посіву можуть призвести до зменшення кількості продуктивних рослин на одиницю площі та вплинути на їх розвиток, що в кінцевому результаті знижує врожайність.

Рівномірне розміщення насіння забезпечує рослинам однакові умови для зростання. Коли відстань між насінням є нерівномірною, виникає конкуренція за світло, вологу та поживні речовини. Наприклад, при надмірному загущенні окремі рослини можуть пригнічувати сусідні, що призводить до зниження продуктивності культури.

З іншого боку, надто велика відстань між рослинами призводить до недовикористання площі поля, і рослини не можуть повністю реалізувати свій генетичний потенціал. Оптимальний розподіл насіння дозволяє зменшити втрати врожаю через конкуренцію і сприяє ефективнішому використанню ресурсів.

Глибина посіву має вирішальне значення для дружніх сходів і подальшого розвитку рослин. При надто глибокому посіві насіння витрачає багато енергії на проростання, що може затримувати розвиток паростків або навіть призвести до їх загибелі. Надмірно дрібний посів, у свою чергу, підвищує ризик пошкодження насіння при нестачі вологи або під час несприятливих погодних умов (висока температура чи вітер).

Також важливе значення має якість загортання насіння у ґрунт. Якщо насіння не покрите ґрунтом належним чином, воно може стати здобиччю птахів або бути пошкодженим через пересихання. Однорідність посіву

гарантує дружні сходи та швидке укорінення рослин, що підвищує їхню стійкість до стресових факторів.

Правильний вибір техніки для посіву також впливає на кінцевий результат. Використання високоякісних сівалок, які забезпечують точний висів насіння на задану глибину та з потрібним інтервалом, дозволяє досягти кращих результатів.

Швидкість посіву має бути оптимальною: при надто високій швидкості може знижуватися точність висіву, а насіння буде нерівномірно розподілене. З іншого боку, надто повільний посів може збільшити витрати часу та ресурсів. Тому важливо дотримуватися технологічних норм, що дозволяють забезпечити найкращий баланс між якістю та продуктивністю роботи.

Насамперед, важливим чинником, що впливає на якість посіву, є якість самого насіння. Це включає в себе генетичний потенціал культури, чистоту насіння, його схожість, масу, вологість, а також відсутність хвороб і шкідників. Високоякісне насіння забезпечує високий відсоток схожості, що зменшує необхідність повторних посівів і збільшує кількість життєздатних рослин на полі.

Чистота насіння та його калібрування також є критично важливими. Змішування насіння різних розмірів або з домішками бур'янів може призвести до нерівномірного розподілу рослин по полю, що, в свою чергу, впливає на конкуренцію між рослинами за ресурси, такі як вода, поживні речовини та світло. Бур'яни конкурують з культурними рослинами, зменшуючи їхню продуктивність. Генетична чистота насіння також визначає адаптивність рослин до конкретних кліматичних умов і стійкість до хвороб і шкідників.

Використання сертифікованого, високоякісного посівного матеріалу, стійкого до хвороб і несприятливих погодних умов, значно підвищує шанси на отримання високого врожаю. Погано очищене чи некаліброване насіння може призвести до нерівномірних сходів і знизити врожайність.

Не менш важливою є підготовка ґрунту перед посівом. Ґрунт має бути розпушеним і добре зволуженим для забезпечення контакту насіння із ґрунтом. Правильний обробіток ґрунту сприяє кращій аерації та поглинанню вологи, що створює сприятливі умови для росту кореневої системи.

Якість посіву є критичним фактором, що впливає на врожайність сільськогосподарських культур. Оптимальна густина, правильна глибина загортання насіння, використання сучасної техніки та підготовка ґрунту допомагають рослинам краще розвиватися та забезпечують стабільний урожай. В умовах сучасного агробізнесу навіть незначні порушення у процесі посіву можуть суттєво вплинути на економічну ефективність господарства, тому контроль за якістю цього етапу має першочергове значення.

Вплив якості посіву на врожайність сільськогосподарських культур є ключовим фактором для досягнення стабільних і високих урожаїв. Якість посіву включає ряд елементів, які охоплюють не тільки характеристики самих насінин, але й умови їх посіву, підготовку ґрунту, погодні фактори та технології. Успішний посів може забезпечити збалансоване і рівномірне проростання рослин, що є основою для формування врожаю.

Якість посіву безпосередньо впливає на рівномірність проростання рослин та їх подальший розвиток. Важливо, щоб на ранніх стадіях рослини мали однаковий доступ до необхідних ресурсів для рівномірного росту. Рівномірність посівів гарантує однаковий розвиток кожної рослини, що сприяє кращому засвоєнню поживних речовин і підвищенню стійкості до несприятливих факторів середовища.

Збалансоване розташування рослин на полі мінімізує конкуренцію між ними, що сприяє формуванню більш продуктивних рослин. Це також полегшує обробку ґрунту, внесення добрив та застосування засобів захисту рослин. Окрім цього, рівномірний посів знижує ризик поширення хвороб і шкідників, які часто концентруються в загущених місцях.

У підсумку, якість посіву є однією з головних передумов для досягнення високих врожаїв. Від правильного вибору насіння, технології висіву та підготовки ґрунту залежать перші кроки розвитку культури, що в кінцевому рахунку визначає врожайність.

## **1.2 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву**

Технологія висіву зі змінною нормою висіву (VRS) стає все більш актуальною в точному землеробстві, оскільки вона допомагає фермерам оптимізувати густоту посіву, регулюючи норми висіву на основі даних про конкретні ділянки, таких як текстура ґрунту, електропровідність та історія врожайності. Цей підхід спрямований на підвищення як економічної ефективності, так і продуктивності сільськогосподарських культур, гарантуючи, що кожна площа поля отримує відповідну норму висіву для конкретних умов.

Дослідження показують, що VRS значною мірою залежить від ідентифікації «зон прийняття рішень» у межах полів. Ці зони створюються шляхом аналізу багатьох джерел даних, зокрема характеристик ґрунту, топографії, зображень дистанційного зондування (наприклад, NDVI для потужності культур) і історичних даних про врожайність. Правильно визначені зони дозволяють виробникам адаптувати норми висіву для підвищення потенціалу врожайності при мінімізації витрат на вхідні ресурси. Наприклад, добре продуктивні ділянки можуть отримувати вищу щільність посіву, тоді як низькопродуктивні ділянки отримують менше витрат, щоб запобігти відходам.

Однією з важливих проблем із впровадженням VRS є визначення оптимальної економічної віддачі, яка може змінюватися залежно від типу культури, обладнання та розміру ферми. Дослідження показують, що технологія VRS з більшою ймовірністю принесуть прибутковий прибуток на фермах, площа яких перевищує 150 гектарів, завдяки ефекту масштабу. Крім того, ефективність VRS залежить від сумісності обладнання та

інтеграції передових сенсорних систем для збору даних про ґрунт і навколишнє середовище в реальному часі.

Полюві випробування та дослідження агробізнесів підкреслюють важливість стратегій посіву, спрямованих на гібриди. Вони виявили, що врожайність сільськогосподарських культур часто залежить від норми висіву, що означає, що врожайність збільшується до певного моменту, але знижується, якщо норма висіву стає занадто високою. Це вимагає ретельного калібрування рецепта VRS, щоб збалансувати використання вхідних матеріалів і максимізувати врожайність.

Загалом, незважаючи на те, що VRS пропонує потенційні економічні та агрономічні переваги, він потребує ретельного планування та управління залежно від поля. Постійна оцінка його ефективності шляхом випробувань і моніторингу даних є важливою для забезпечення стійких переваг протягом тривалого часу. Майбутні розробки сенсорних технологій і аналітики даних, ймовірно, ще більше покращать системи VRS, зробивши їх доступнішими та ефективнішими для фермерів у різних масштабах і в різних умовах.

Сьогодні агровиробники прагнуть максимізувати врожайність агрокультур, одночасно розумно використовуючи наявні ресурси для підтримки рівня прибутковості виробництва. Витрати на ресурси в агровиробництві давно почали зростати, при цьому виникла потреба в належному екологічному догляді, що вимагає від аграріїв розробки більш ефективних і сталих стратегій управління. Доступність глобальних систем позиціонування (наприклад GPS) для аграріїв поклала початок розвитку технологій, що зараз об'єднані назвою «точне землеробство» (PA). Вказівки на основі системи GPS у поєднанні із картографуванням урожайності були початковими технологіями, що впроваджувались на підприємствах із технологіями змінних норм (VRT), які з'явилися незабаром після цього. Згодом ці технології стали звичними опціями сільськогосподарської техніки.

Зараз посівні машини для просапних культур оснащуються гідравлічними та електричними приводами та пов'язаним монітором у кабіні, що дозволяє оператору застосовувати змінну норму при посіві (VRS). Через власні можливості VRS у поєднанні зі зростаючими обсягами витрат на посівний матеріал і присутність неоднорідних умов на полях, серед аграріїв є високий інтерес до застосування VRT як засобу управління ризиками та забезпечення прибутковості.

Кукурудза залишається однією з найпопулярніших посівних культур. Посів відіграє ключову роль у вегетаційному періоді, будучи однією з найважливіших польових операцій. Від правильної густоти посіву та точного розміщення насіння залежить рівномірність сходів, розвиток рослин та майбутня врожайність.

Помилки під час посіву впливатимуть на весь вегетаційний період кукурудзи, здебільшого негативно. Для проростання насіння потребує поглинання вологи з ґрунту, причому вологість у зоні насінневого ложа суттєво визначає швидкість проростання та появу перших сходів. Оптимальні умови посіву й належна продуктивність є ключовими для успішного проростання культури та розкриття її врожайного потенціалу.

Сходи кукурудзи можна охарактеризувати як етап, на якому насіння проростає і починає з'являтися на поверхні ґрунту. У всьому кукурудзяному поясі відомо, що для досягнення максимального врожаю важливо забезпечити рівномірність сходів. Попередні дослідження також підкреслюють, наскільки значущими є ранні та рівномірні сходи для отримання високих врожаїв. Процес посіву передбачає підготовку ґрунту, тобто формування борозни, на необхідну глибину, після чого насіння розміщують у цій борозні і закривають її за допомогою прикочувальних коліс, що встановлені на сівалці.

Завершення цих етапів зазвичай недостатньо для досягнення рівномірного сходження насіння, особливо на південному сході, де на одному полі може спостерігатися велика варіативність ґрунту (наприклад,

різниця в типах і текстурах ґрунту). На якість сходів насіння впливають численні фактори, такі як неідеальні умови на полі під час посіву, зміни погодних умов протягом вегетаційного періоду та недбалість у налаштуванні та експлуатації сівалки, що ускладнює досягнення рівномірних сходів кукурудзи в цьому регіоні.

Фактори, які найбільш часто згадуються в літературі і впливають на сходи врожаю, включають властивості ґрунту (таких як структура та вміст вологи при посіві), глибину борозен, куди закладається насіння, а також притискну силу, яка визначається як тиск, що створюється колесами сівалки на ґрунт.

Зважаючи на високу мінливість ґрунтів, забезпечення постійного розміщення насіння на необхідній глибині, збереження цільової кількості та відстані між насінням може бути складним завданням. Сучасні системи точного землеробства та можливості варіативного внесення технологій (VRT) дозволяють здійснювати точний моніторинг продуктивності сівалки в режимі реального часу. Проте важливим фактором є точність даних про посів та їхня здатність точно показати розміщення насіння на площі.

Основною темою точного землеробства наразі є «великі дані» та їхнє подальше впровадження в сільське господарство. Хоча програмне забезпечення для управління даними та ведення сільського господарства з'явилося ще в середині 1990-х років, дедалі більше виробників зацікавлені в зберіганні даних, згенерованих їхніми підприємствами, на комп'ютерах і в їх використанні для отримання інформації, яка може допомогти в ухваленні управлінських рішень.

«Рішення на основі даних» - це зазвичай термін для описання цього процесу. Розробка технології VRS для кукурудзи на рівні підприємства передбачає кілька важливих компонентів, зокрема правильну технологію РА та глибоке розуміння умов вирощування на кожному полі. Це знання потребує не тільки інтуїції менеджера, а й використання просторових даних для створення управлінських зон, кожна з яких має свою власну норму

висіву. Основними просторовими шарами, необхідними для розробки таких зон для посіву, є карта ґрунту, дані про рельєф та карти врожайності.

В аграрній галузі карти врожайності та карти-завдвння посіву стають все важливішими, оскільки ці два види даних служать для розуміння впровадження технології VRS і здатності оцінити її з точки зору вигод для окремого поля. Відсутність кожного з цих рівнів ускладнить правильну оцінку та розуміння технології і потенційно може призвести до хибнопозитивних результатів для агровиробника. Характеристикою будь-якого рівня даних є їхня якість. Неякісні дані призведуть до помилкових результатів і, як результат, до неправильних рішень. Тобто, такі дані мають бути якісними, щоб визначити правильні зони для проведення VRS кукурудзи, бо вони, зазвичай, доволі динамічні або переглядаються протягом кількох років, після того як збирається більше даних.

Числені попередні дослідження виявили проблеми з якістю застосовуваних електронних карт і їх здатністю відображати реальну просторову продуктивність машин, обладнаних засобами VRT. Таким чином, ефективність застосування великих даних в рослинництві залежить як від технології, що застосовують виробники, так і від кількості та якості шарів даних про поле, щоб аналітичні звіти, що розробляються, могли генерувати інформацію, яку власники земель могли б використати в процесі прийняття управлінських рішень.

Наше дослідження було здійснене з метою глибше зрозуміти актуальні можливості впровадження VRS кукурудзи на півдні. Зокрема, спостерігається зростаючий інтерес до VRS кукурудзи, що проявляється у збільшенні кількості послуг VRS, які надають насінневі компанії та сторонні організації, що займаються управлінням даними у сфері точного землеробства. Інформація про посіви разом із картами врожайності є необхідними для адекватної оцінки та точного налаштування зонального управління, що підтримує VRS. Ми вважаємо, що висока ефективність машини для точного розміщення насіння, в поєднанні з детальним

просторовим відображенням параметрів процесу посіву, є критично важливою для успішного впровадження VRS з використанням сучасних технологій. Основною метою даного дослідження було оцінити поточну польову продуктивність технології варіабельного висіву для точного розміщення насіння, а також вивчити точність даних зібраних в процесі посіву, щоб відобразити реальну продуктивність машини. Конкретні цілі дослідження включали оцінку продуктивності агромашини при різних налаштуваннях глибини закладення насіння та притискної сили, шляхом вимірювання глибини висіву насіння та фактичних сходів на полі. Крім того, було досліджено вузли посівної машини (висівний апарат, контролер змінної норми) для досягнення бажаної продуктивності при роботі з VRS.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводилося на протязі вегетаційного сезону 2024 року. RTK є основною корекцією GPS, яку використовували для технологій точного землеробства в ході дослідів. В даному дослідженні використовували 6-рядкову інтегровану просапну сівалку фірми John Deere з висівними апаратами MaxEmerge. Сівалки було обладнано стандартними зубчастими очисниками рядків і набором гумових загортаючих коліс, встановлених за сошниковими дисками. Налаштування очисників рядків і коліс, виконували зважаючи на переважаючі ґрунтові умови на обраних полях. Секції сівалки розташовували з міжряддями 70 см. На всіх висівних секціях використовували потужні притискні пружини, які номінально не чинять додаткової притискної сили або можуть бути налаштовані так, щоб створювати додатково 0,45, 1,11 або 1,76 кН (називаються як нульове, низьке, середнє та високе відповідно) притискної сили на кожен рядок.

Регулювання глибини здійснювали за допомогою налаштування T-подібної рукоятки, яка обмежує висоту розташування для направляючих коліс для кожної висівної секції. Гідравлічна система керування від компанії Trimble Rawson забезпечила можливість змінювати норми висіву сівалки та керувалася з застосуванням технології *Trimble Field IQ*. Як енергозасіб, використовувався трактор *John Deere 8130*, обладнаний системою *Trimble Auto – Pilot*, що використовує опорну віртуальну станцію в якості джерела коригування RTK.

На всіх тестах використовувався монітор *Trimble FMX* зі змінною нормою висіву та функцією моніторингу процесу посіву по рядах. Дисплей *Precision Planting 20/20 SeedSense* також застосовувався для моніторингу всіх основних параметрів посіву. Усі насінневі трубки мали високошвидкісний сенсор висіву *Dickey – John*, що забезпечував

зворотний зв'язок із засобами Trimble. Перед посівом на всіх полях було проведено смуговий обробіток.

У відділі Biosystems Engineering розробили спеціальну систему збору даних для сівалки, яка забезпечує моніторинг і фіксацію параметрів посіву в реальному часі. Серед цих параметрів — фактична швидкість дозатора та показники прискорення/вібрації висівного агрегату. Дані просторово пов'язуються за допомогою приймача диференціальної глобальної системи позиціонування (DGPS), що дає змогу зформувати просторові дані для подальшого їх аналізу.

Частоту обертів висівного апарату при посіві визначали за допомогою спеціального кодера 3600 імпульсів за один оборот (*TRD – GK*, Токіо, Японія). Приймач виробництва *Raven Industries 200* був встановлений на сівалку вздовж центральної лінії рядків. Дану систему збору даних було створено з використанням програми *National Inst. LabView* та плати *National Inst. USB 6245 DAQ board* із частотою дискретизації 10 Гц. Також використовувався користувацький інтерфейс для моніторингу всіх даних про посів під час роботи в польових умовах на ноутбучі. Зібрані дані вподальшому були використані для створення електронної карти стану посіву, що відображає справжню популяцію рослин у полі.

Ми обрали три поля для виконання двох унікальних експериментів по дослідженню продуктивності сівалки. Перший дослід складався з оцінки продуктивності посівної машини на двох глибинах 25 і 51 мм і 4-х різних налаштуваннях величини тиску (від нульового до високого) для загалом восьми різних комбінацій посіву. У всіх випадках використовували середню норму висіву 65200 насінин/га при постійній швидкості руху 7,0 км/год із відповідним налаштуванням висівного апарату *Precision Planting eSet meter*. Було обрано два поля з різними, проте відомими нам властивостями ґрунту; поле №1 являло собою ґрунт супіщаного типу, а поле №2 - глинисто-суглинкового типу. Глибина посіву і величина притискної сили (як і

притискний тиск) були факторами впливу, обраними як основні в даному дослідженні. Початкову глибину висіву було встановлено шляхом налаштування T-подібної рукоятки для роботи сівалки з використанням режиму навантаження в 1,11 кН. Після встановлення глибин посіву 25 та 51 мм їх використовували на кожному полі. На кожному полі всі операції повторювали по чотири рази. Кожна реплікація включала всі вісім режимів обробок (рис. 1) і являла собою диференційовану область поля. Був реалізований експеримент, де кожен прохід посівної машини представляв окремий режим посіву, що були випадковим чином розташовані в кожній повторності (рис. 1). Смужки різного кольору представляють схему проходів посівної машини в першій реплікації. План проведення експерименту полягав у рандомізованому блочному дизайні, при якому комбінація глибини висіву та величини притискної сили були випадковим чином призначені смузі із загальною вісьмома рандомними обробками. Кожна така смуга була шириною 5,5 м і довжиною приблизно 4,85 м, що відповідало 6-ти рядам сівалки. Збір даних проводився вздовж умовної сітки, а визначення місць для відбору проб було знайдено шляхом малювання 6-ти трансект через кожне дослідне поле (рис. 1). Кожна така смуга (відповідного кольору) на карті відображує окремий прохід сівалки, що включає в себе комбінацію глибини висіву насіння та певного значення притискної сили. Кожен посів повторювався чотири рази в межах одного поля таким же випадковим способом, як показано в першій реплікації.

Дані були зібрані на перетині цих трансектів і кожного проходу, що разом охоплювало 192 місця відбору проб.

На кожному місці відбору збирали такі показники: рівень вологості ґрунту під час посіву, кількість рослин після появи сходів та фактичну глибину посіву. Вологість ґрунту вимірювали під час посіву за допомогою датчика HydraProbe, фіксуючи по одному значенню в кожному місці. Підрахунок рослин проводився на відрізку довжиною 7,6 метра, який випадково обирали в одному з рядків культури на місці відбору проб.

Відсоток пророслого насіння розраховували шляхом ділення результату підрахунку сходів на цільову норму посіву на гектар. Фактичну глибину висіву вимірювали після посіву, коли паростки кукурудзи досягли стадії розвитку від V1 до V2. Методика полягала у вилученні 10 рандомно відібраних окремих рослин (загалом 10 з чотирьох рядків) із ґрунту на ширині однієї секції довжиною 7,6 м для кожної ділянки відбору та подальшим вимірюванням відстані між центром насінин та поверхнею ґрунту. Ці результати вимірювань було визначено як фактичну глибину висіву кукурудзи порівняно з заданою глибиною висіву для аналізу.

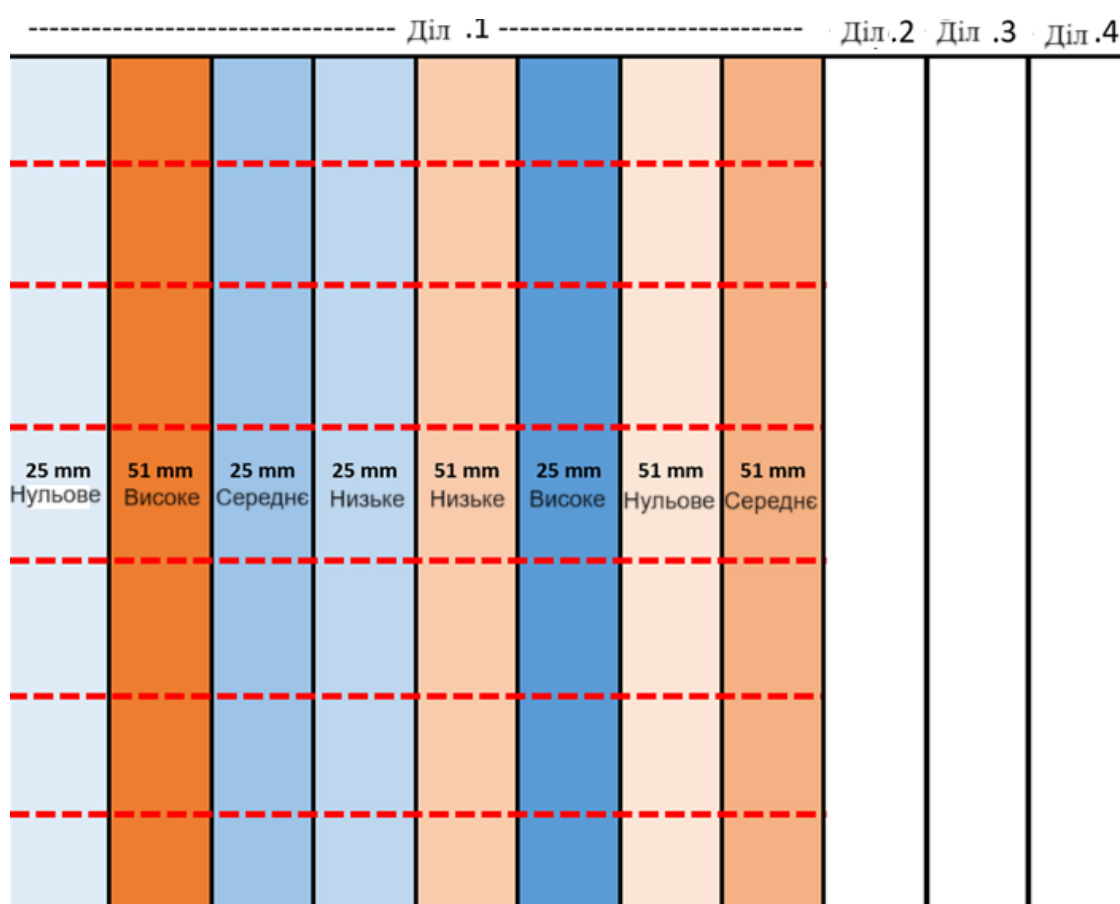


Рис. 1 - Схема поля 2 для глибини посіву за допомогою експерименту з притисочною силою, що ілюструє вісім різних комбінацій обробки в першій повторності та шість трансект (червоні лінії), що представляють місця відбору проб для кожної ділянки

Другий дослід, організований на полі 3, було зосереджено на оцінці продуктивності посівної машини під час роботи за VRS, що виконувались з застосуванням двох видів висівних апаратів (John Deere St. та eSet) з п'ятьма

різними посівними нормами (49230, 59330, 69330, 79330 і 89330 насінин/га) і чотири сівби на швидкостях руху (6,3, 7,3, 8,3 і 9,3 км/год) для загалом 20 посівів для кожного висівного апарату.

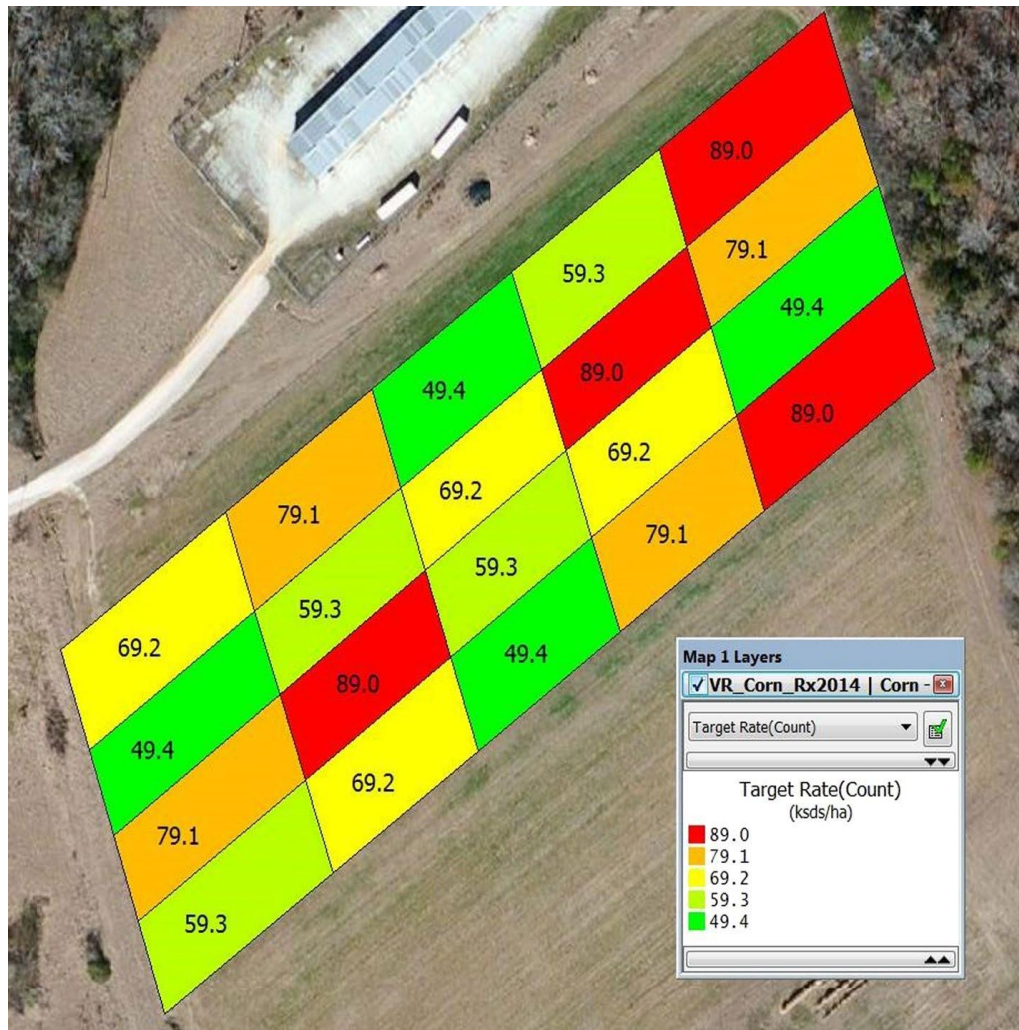


Рис. 2 – Карта-завдання посіву кукурудзи, що показує норму висіву (тис. нас./га) для поля №3

Кожен прохід посівної машини являв собою індивідуальну обробку на певній швидкості руху із зміною норм посіву (диференційна обробка) у межах обраної швидкості руху. Карти-завдання для посіву (Rx) були сформовані в програмному середовищі AgLeader SMS Advanced software з подальшим експортом для відповідного типу відображення. Рисунок 2 демонструє карту із нормами посіву, рандомізованими в такому самому порядку в кожному повторенні. Всі процедури були рандомізовані та повторювались чотири рази, загальна їх кількість склала 20 процедур.

Дослід було реалізовано як стрип-спліт-схему ділянки на полі. Дослідні ділянки мали ширину 5,5м (ширина захвату 6-рядної сівалки) і були довжиною 53,3 м.

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

Кожен режим посіву проводився при досягненні бажаної швидкості руху посівної машини перед заїздом на ділянку та підтримки постійної швидкості руху під час посіву на всіх режимах з нормою висіву для кожної смуги. Крім того, було визначено частоту обертів диска висівного апарата (об/хв), що відповідала різним комбінаціям швидкості руху посівної машини та норми висіву насіння (табл. 1), для ширини міжрядь 70 см,

оскільки частота обертів висівного апарату є функцією від швидкості руху, посівної норми, і ширини міжрядь. У центрі кожної дослідної ділянки збирали дані про інтервал між рослинами в чотирьох середніх рядках (ряди 2 і 3 для апарату John Deere St. і ряди 3 і 4 для апарату eSet) після появи сходів. Для цього вимірювали відстані між рослинами вздовж 50 послідовних рослин з кожного ряду. Зовнішні два рядки (рядки 1 і 6) залишали буферними на кожній ділянці. Загальну відстань для 50 послідовних рослин у кожному ряду було зафіксовано, а щільність популяції (рослини/га) розраховано шляхом ділення 50 рослин на обчислену площу (визначена відстань  $\times$  ширина рядку). Відсоток схожості визначали шляхом співвідношення фактичної популяції рослин до заданої норми посіву на кожній ділянці.

Середній інтервал між рослинами кукурудзи та стандартне відхилення використовували для обчислення коефіцієнта варіації (CV%), який характеризує рівномірність розподілу рослин під час посіву. Низькі значення CV вказують на рівномірний інтервал між рослинами, що є бажаним для висіву просапних культур. В місцях кожного гону, де відбувався перехід з однієї норми висіву на іншу, місце (зафіксоване за допомогою портативного GPS пристрою) по довжині над чотирма центральними рядами вимірювалося з використанням рулетки з точністю  $\pm 0,25$  см. Оскільки швидкість посівної машини була постійною на кожному проході, ці вимірювання відстані були використані для визначення часу зміни швидкості. Отримані після посіву дані, що включали з популяцію рослин, також записувались за допомогою наявного дисплея VR в кабіні трактора для обох дослідів і аналізувались для порівняння продуктивності посівної машини на основі фактичних даних з поля.

Усі зібрані дані були систематизовані в Microsoft Excel. Для першого дослідів задану глибину посіву та величину притискної сили розглядали як головні змінні, а схожість та фактичну глибину висіву розглядали як змінні реакції. Проводився двосторонній дисперсійний аналіз з застосуванням

програмного забезпечення SAS для статистичного аналізу з метою визначення значимості основних заходів впливу на змінні відповіді і встановлення будь-якої взаємодії між основними методами впливу.

Для другого дослідження частота обертів диска висівного апарату використовувалася як змінна процесу посіву для проведення одностороннього аналізу з відсотком появи та коефіцієнтом варіації як змінними відповіді. Так як частота обертів висівного диска є функцією швидкості руху посівної машини та заданої норми висіву, які були реалізовані на поділених ділянках в полі, при проведенні статистичного аналізу використовувалися відповідні похибки, які враховували цей план експерименту. Дані про час на здійснення переходу, зібрані при дослідженні VRS, також аналізували з урахуванням швидкості руху посівної машини та норми висіву як головних чинників, а також врахуванням часу переходу як змінної реакції. Усі проведені статистичні порівняння мали рівень значущості 95% із показником альфа рівним 0,05.

## 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

### 3.1 Дослідження глибини посіву та притискної сили

Перший дослід, зосереджений на притискній силі секцій посівної машини та глибині посіву, дав зрозуміти, як ці два налаштування машини впливають на фактичну глибину висіву. Варто пам'ятати, що на просапних сівалках традиційної конфігурації ці параметри переважно встановлюються оператором лише раз і не змінюються для всього поля або декількох полів. Як правило, ці параметри змінюють лише під час висіву в умовах значної зміни польових умов.

У табл. 2 наведено дані про загальний середній вміст вологи в ґрунті, глибину посіву та схожість для полів 1 і 2. Проведений статистичний аналіз виявив значні відмінності у рівні вологи в ґрунті ( $p < 0,0001$ ), глибині закладання насіння ( $< 0,0001$ ) і схожості ( $p = 0,0270$ ) між дослідними полями 1 і 2. Різниця у значеннях кількості вологи для полів 1 і 2 вказує на значну мінливість показника вологи між цими двома полями. Поле 1 можна вважати відносно сухим, на що вказує нижчий вміст ґрунтової вологи ніж на полі 2.

Результати показали, що поле 1, зазвичай, засаджували дещо мілкіше, ніж поле 2, так як глибина посіву (39 мм), зафіксована на полі 2, була відносно більшою за глибину висіву (35 мм) на полі 2. Це можливо пояснити мінливістю вологості ґрунту між двома полями, бо можна очікувати малу глибину висіву насіння в умовах сухішого ґрунту з таким налаштуванням сівалки. Загальна варіація фактичної глибини посіву була відносно незначною для кожного поля зі стандартними відхиленнями 7мм чи навіть менше.

Загальна середній показник схожості на двох полях суттєво відрізнявся, хоча врожайність на полі 1 була лише на 1% нижчою, ніж на полі 2. Показник схожості у 95–96% був доволі добрим для ґрунтів на цих полях, але меншим, ніж у попередніх дослідях на кукурудзі, яка здебільшого

зійшла в межах 96%...99%. Низькі значення стандартних відхилень від 4 до 5% на обох досліджуваних полях вказують на доволі рівномірне сходження на кожному.

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 проведеного дисперсійного аналізу для головних ефектів заданої глибини, величини притискної сили та взаємодії глибина посіву×притискна сила для обох полів наведені в табл. 3. Статистичний аналіз демонструє, що на фактичну глибину посіву суттєво вплинула ( $p < 0,0001$ ) глибина висіву насіння і притискна сила для обох полів. Сходження значно різнилося для цільової глибини висіву на полі 1, проте не на полі 2. Для обох дослідних полів притискна сила не істотно не вплинула ( $p > 0,05$ ) на схожість. Взаємодія глибина×притискна сила для обох полів були визначені як незначущі ( $p > 0,05$ ) і не вплинули на фактично отриману глибину посіву та схожість. У таблиці 4 представлено зведення середньої фактичної глибини посіву та значення схожості за кожною основною комбінацією (цільова глибина - притискна сила) окремо для обох дослідних полів.

На обох полях фактична глибина висіву мала тенденцію бути більшою для заданої глибини висіву 25мм і меншою для заданої глибини посіву 51 мм. На полі 1 схожість (93%), досягнута на глибині висіву 25 мм, була значно нижчою, ніж схожість (97%), досягнута на глибині висіву 51 мм, що вказує на зниження схожості культури на меншій посівній глибині на цьому полі.

Середнє значення схожості, досягнуте на полі 2, склало 96% для обох заданих глибин висіву 25 і 51 мм. На обох полях фактична глибина посіву мала тенденцію до зростання при застосуванні притискної сили, причому більше значення глибини посіву досягалося при високих налаштуваннях притискної сили.

Проте статистичний аналіз показав, що суттєві різниці в глибині посіву фіксувались лише між висівом без притискної сили та всіма іншими режимами посіву з притискною силою. Хоча такі низькі значення притискної сили або її відсутність зазвичай не застовується агровиборниками для посіву кукурудзи в цій зоні, проте вплив притискної

сили на дотримання заданої глибини посіву, особливо при низьких значеннях притискної сили, говорить про мінімальну вимогу до величини притискної сили (від нульового до низького) для висіву кукурудзи, де можна очікувати значні зміни фактичної глибини висіву в полі, якщо не підтримувати притискне зусилля вище такого мінімального значення.

Фактична глибина посіву суттєво не відрізнялася між налаштованими значеннями притискної сили (низькими, середніми та високими), що вказує на відсутність впливу притискного зусилля на глибину висіву.

Для першого поля схожість, здавалося, збільшувалась зі зростанням притискної сили, але значних відмінностей між значеннями на різних налаштуваннях величини притискної сили не спостерігалось. Вона різнилася між низьким та високим притискним зусиллям для поля 2, при цьому високе притискне зусилля продемонструвало вищий загальний відсоток схожості 97%, хоча окремі значення статистично не відрізнялись між собою. Це пояснюється тим фактом, що більше притискне зусилля, можливо, забезпечило кращий контакт насінин з ґрунтом для існуючого типу ґрунту та домінуючих ґрунтових умов на даному полі, які сприяли появі більшої кількості сходів.

Отже, налаштування глибини посіву та притискної сили істотно вплинули на фактичну глибину посіву, але результати даного дослідження вказують на реальну складність підтримки заданої глибини посіву кукурудзи при застосуванні тільки одного налаштування глибини посіву та величини притискної сили. Отримувані результати можуть істотно відрізнятися залежно від ступеня змінності ґрунтових умов на полі.

Також результати аналізу даних з полів 1 і 2 показали, що одним із основних чинників, що стимулювали появу сходів, став вміст вологи в ґрунті. На доданок, присутність великої мінливості ґрунтової вологи на полі може вплинути на схожість разом із впливом від неправильного вибору глибини та притискної сили при проведенні посіву. Така інформація підкреслює потребу не тільки розуміти всі процеси, які відбуваються при

посіві, але й впроваджувати технології, які дозволять краще реагувати на таку мінливість та покращити ефективність посівної машини. Здатність укладати насіння на заданій глибині посіву та в правильній кількості гарантує наявність максимального або близького до нього потенціалу врожайності з першого дня посіву.

### 3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою

З результатів дисперсійного аналізу для дослідження посіву за технологією змінних норм (VRS) видно, що інтервал між рослинами суттєво різнився ( $p < 0,0001$ ) для різних частот обертання диска висівного апарата John Deere Standard та Precision Planting eSet meter (Табл. 5).

Такий результат був очікуваним, бо на інтервал між рослинами вплинула норма висіву, від якої залежить швидкість дисків висівних апаратів. Для Precision Planting eSet на коефіцієнт варіації (CV) значно вплинула його частота обертів ( $p = 0,0021$ ), тоді як оберти висівного апарату не вплинули на CV для апарату JD Standard. Статаналіз також показав відсутність істотних відмінностей ( $p > 0,05$ ) у схожості для різних частот обертання дисків висівного апарата, що демонструє відсутність впливу швидкості дисків висівного апарата на кількість сходів для обох типів висівних апаратів. Таблиця 6 демонструє підсумкові дані про середній інтервал між рослинами, CV і схожість для різних частот обертання, досягнутих під час випробувань в польових умовах.

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

Зафіксований інтервал між рослинами була в діапазоні 2–13 мм від заданої відстані у висівного апарату моделі JD Standard і в діапазоні 2–11 мм для моделі eSet. Вимірний інтервал між рослинами відрізнявся для різних частот обертання диска висівного апарата через те, що швидкість роботи висівного вузла є функцією норми посіву та швидкості руху посівної машини, і будь-які зміни в цій нормі впливають на цільовий інтервал між насінням при заданій швидкості руху.

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

Для обох висівних апаратів загальна тенденція була наступною: значення CV зростали при збільшенні частот обертання диска висівного

апарата, однак значних відмінностей між показниками CV на різних частотах обертання висівного диска у John Deere Standard не спостерігалось.

Визначені значення CV для апарату Precision Planting eSet виявились в середньому нижчими за значення для апарату John Deere Standard. Значення коефіцієнту варіації становили 31,2% і навіть вище для частот обертання висівного диска понад 25 об/хв для апарату John Deere з максимальним значенням 36,4%. Коефіцієнт варіації у висівного апарату eSet перевищив 31% при частоті обертання понад 28,5 об/хв з максимумом 33,8%.

У апарату Precision Planting eSet значення коефіцієнту варіації CV, що фіксувалися при частотах обертання 27,7, 37,2, 38,2 і 43,0 об/хв, значно відрізнялися від коефіцієнту варіації, досягнутого при найнижчій частоті у 15,4 об/хв. Такий результат свідчить про те, що однорідність між насінинами погіршується при збільшенні частот обертання висівного апарату.

Лабораторні випробування обох висівних апаратів на випробувальному стенді безпосередньо перед посівом показало, що їх продуктивність може різко знижуватися при вищих частотах обертання (> 38 об/хв).

Загальна схожість для обох типів висівних апаратів склала від 93% до 99%, причому окремі найнижчі значення схожості (93–95%) отримано при частотах обертання диска висівного апарата 32,1, 37,2 і 43,0 об/хв у обох типів. Обидва дозатори забезпечили співставне проростання насіння без особливої тенденції, яка б спостерігалася у величинах схожості при збільшенні частот обертання висівних апаратів.

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 відповідають збільшенню швидкості, а негативні - її зменшенню.

Отримані результати демонструють, що на рівномірність інтервалу між рослинами та схожість не впливала частота обертання висівного апарата для обох дозаторів, за винятком значень коефіцієнту варіації на найнижчих обертах диска висівного апарата (15,4) і 3-х високих частотах обертання висівного диска (37,2, 38,2 і 43,0) для моделі Pr. Planting eSet. .

Результати застосування VRS на полі 3 показали, що пройдений сівалкою шлях для зміни норми висіву становив 2,0 м або менше і не залежав від величини зміни норми. Перерахунок значень відстані в секунди продемонстрував, що час відгуку для висівної системи зі змінною нормою висіву необхідний, щоб зміна норми відбулась, був близьким до 1 с і менше, незалежно від швидкості посівної машини. Не було зафіксовано істотної різниці між часом необхідним на зміну швидкості для усіх швидкостей руху (Табл. 7).

Єдина спостережена нами невелика тенденція була в тому, що час необхідний для зміни швидкості зменшувався при більших швидкостях руху, що є очікуваним, бо відстань, виміряна в полі при зміні швидкості, була однаковою на різних налаштуваннях посівної машини.



Рис. 3 - Порівняння (а) карт-завдань (Rx) і (b) фактичної карти посіву

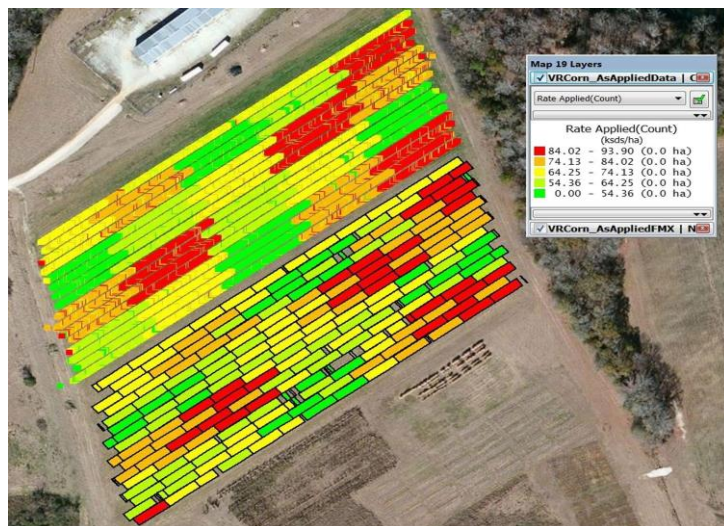


Рис. 4 - Порівняння між (а) даними посіву, побудованими на дисплеї ВР в кабіні (багатокутникове представлення), та (b) дійсною картою посіву, побудованою системою збору даних (точковий вигляд)

## 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 порівнянню 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-vazhlivih-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://agrobusiness.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