

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерно-технологічний**

**Кафедра агроінжинірингу**

**До захисту**  
**Допускається**  
**Завідувач кафедри**

**Михайло ШУЛЯК**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу елементів точного землеробства на показники ефективності просапних сівалок»

Виконав:

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Максим РОМАНЕНКО**

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:

\_\_\_\_\_ **СТЗ 2401-1м**

Науковий керівник:

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Анатолій ЛЕБЕДЄВ**

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Михайло ШУЛЯК**

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

\_\_\_\_\_

(підпис)

**В'ячеслав ТАРЕЛЬНИК**

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2025

## АНОТАЦІЯ

**Романенко Максим Олександрович**

Дослідження впливу елементів точного землеробства на показники ефективності просапних сівалок.

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за освітньою програмою «Системи точного землеробства» зі спеціальності 208 «Агроінженерія». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2025.

Випускна кваліфікаційна робота представлена на 51 сторінці машинописного тексту пояснювальної записки, що містить 8 таблиць, 4 рисунки, додатків 2, 25 літературних джерел.

Проведено комплексне дослідження ефективності застосовуваної на практиці технології посіву кукурудзи з одночасною детальною оцінкою точності даних щодо процесу висіву. У межах роботи виконано два окремі експериментальні випробування, що передбачали використання двох різних систем обліку параметрів на 6-рядній просапній сівалці John Deere, призначеній для висіву кукурудзи. Перше дослідження було спрямоване на визначення особливостей та рівня продуктивності сівалки за двох значень глибини загортання насіння (25 та 51 мм), а також за чотирьох варіантів налаштування тиску сошників — від нульового до максимально високого. Друге дослідження зосереджувалося на аналізі роботи сівалки під час виконання посіву зі змінною нормою висіву, що дало можливість встановити вплив цього режиму на рівномірність розміщення насіння та параметри посіву в цілому.

У процесі експериментів застосовувалися два типи висівних блоків — штатний висівний апарат John Deere та модифікований блок eSet від Precision Planting. Для кожного з них було випробувано п'ять різних норм висіву, а також чотири варіанти обробки, що реалізовувалися на різних

швидкостях руху агрегату. Таке поєднання параметрів забезпечило отримання двадцяти різних робочих режимів висівного апарату, що дозволило комплексно оцінити вплив швидкості та норми висіву на якість посівного процесу.

Польові дані збиралися шляхом фіксації основних технологічних показників, а саме: рівня та рівномірності сходів, фактичної популяції рослин, глибини загортання насіння. Для дослідження зі змінними нормами висіву додатково проводився облік відстаней між окремими рослинами, фактичної густоти стояння після появи сходів, а також реєстрація змін інтервалів та розташування насіння у межах ділянки при варіаціях швидкості руху. Такий підхід дав змогу сформувати повну картину впливу досліджуваних факторів на точність роботи висівних систем та загальну якість посіву кукурудзи.

Ключові слова: посів, якість, посівний агрегат, робоча швидкість, рівномірність висіву.

## **ABSTRACT**

### **Romanenko Maksym Oleksandrovych**

Study of the influence of precision farming elements on the efficiency indicators of row-type seeders.

Qualification work for obtaining a master's degree in the educational program "Precision farming systems" in specialty 208 "Agroengineering". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The graduation qualification work is presented on 51 pages of typewritten text of the explanatory note, containing 8 tables, 4 figures, 2 appendices, 25 literary sources.

A comprehensive study of the efficiency of the corn sowing technology used in practice was conducted with a simultaneous detailed assessment of the accuracy of data on the sowing process. As part of the work, two separate

experimental tests were performed, which involved the use of two different parameter accounting systems on a 6-row John Deere row-type seeder designed for corn sowing. The first study was aimed at determining the features and level of productivity of the seeder at two values of the seed embedment depth (25 and 51 mm), as well as at four options for adjusting the coulter pressure - from zero to the highest possible. The second study focused on analyzing the operation of the seeder during sowing with a variable seed rate, which made it possible to establish the influence of this mode on the uniformity of seed placement and sowing parameters in general.

Two types of seeding units were used in the experiments - a standard John Deere seeding unit and a modified eSet unit from Precision Planting. For each of them, five different seeding rates were tested, as well as four processing options implemented at different speeds of the unit. This combination of parameters provided twenty different operating modes of the seeder, which allowed a comprehensive assessment of the influence of speed and seeding rate on the quality of the sowing process.

Field data were collected by recording the main technological indicators, namely: the level and uniformity of seedlings, the actual plant population, the depth of seeding. For studies with variable seeding rates, additional records were kept of the distances between individual plants, the actual density of the stand after emergence, as well as registration of changes in intervals and the location of seeds within the plot with variations in the speed of movement. This approach made it possible to form a complete picture of the influence of the studied factors on the accuracy of the sowing systems and the overall quality of corn sowing.

Keywords: sowing, quality, sowing unit, operating speed, seeding uniformity.

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1. Стан питання і задачі досліджень.....	11
1.1 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур .....	11
1.2 Аналіз досліджень технологій варіабельного посіву .....	14
Розділ 2. Методика досліджень.....	22
Розділ 3. Аналіз результатів досліджень.....	30
3.1 Дослідження глибини посіву та притискної сили .....	30
3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою .....	35
Висновки.....	45
Список використаних джерел.....	48

## **ВСТУП**

### **1. Актуальність теми**

Просапні сівалки, обладнані сучасними елементами точного землеробства, здатні забезпечувати високоточний контроль параметрів посіву, однак ефективність їх роботи залежить від правильності налаштування висівних апаратів, режимів руху агрегату та взаємодії окремих технологічних елементів. Потреба у науково обґрунтованих рекомендаціях щодо вибору параметрів посіву, режимів роботи та оцінки точності систем обліку посівного матеріалу зумовлює актуальність дослідження впливу елементів точного землеробства на ефективність роботи просапних сівалок.

### **2. Аналіз стану наукової розробки проблеми**

У наукових публікаціях останніх років широко висвітлюються питання впливу якісних показників посіву на рівень врожайності кукурудзи та інших просапних культур. Значна увага приділяється удосконаленню висівних апаратів, оптимізації тиску сошників, вибору раціональної глибини загортання, а також дослідженню впливу швидкості руху агрегату на якість розміщення насіння. Окремим напрямом є застосування технологій варіабельного посіву, що дозволяють формувати диференційовану густоту стояння залежно від зон продуктивності поля.

Разом із тим існує низка невирішених питань, пов'язаних із комплексною оцінкою роботи різних типів висівних апаратів у змінних режимах, а також із визначенням точності систем моніторингу посіву за умов варіації глибини загортання, тиску на сошник і норми висіву. Наявні дослідження здебільшого розглядають окремі фактори впливу, тоді як комплексна взаємодія конструктивних і технологічних параметрів потребує подальшого опрацювання. Це створює необхідність експериментальної оцінки функціонування сучасних висівних систем на різних режимах роботи в умовах реального виробництва.

### **3. Мета дослідження**

Метою роботи є експериментальне дослідження впливу елементів точного землеробства на показники ефективності роботи просапних сівалок та визначення оптимальних параметрів посіву з метою забезпечення високої якості виконання технологічного процесу.

### **4. Об'єкт дослідження**

Об'єктом дослідження є процес посіву просапних культур із використанням елементів точного землеробства.

### **5. Предмет дослідження**

Предметом дослідження є якісні показники роботи висівних систем просапних сівалок—глибина загортання, рівномірність висіву, стабільність популяції рослин—за різних режимів руху та параметрів налаштування обладнання.

### **6. Завдання дослідження**

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати стан наукових досліджень щодо факторів, що впливають на якість посіву та ефективність роботи висівних апаратів.
2. Провести експериментальні дослідження роботи просапної сівалки за різних значень глибини загортання насіння та притискної сили сошників.
3. Дослідити вплив режимів варіабельної норми висіву та швидкості руху агрегату на якість виконання посіву.
4. Здійснити порівняльну оцінку ефективності стандартного висівного апарата John Deere та модифікованого блока eSet.

### **7. Методи дослідження**

У роботі застосовано комплекс методів: експериментальні польові дослідження технологічних параметрів посіву; інструментальні вимірювання глибини загортання та фактичної густоти стояння; статистичні методи обробки експериментальних даних; порівняльний аналіз роботи

різних висівних систем; методи математичного узагальнення для формування висновків.

### **8. Структура та обсяг роботи**

Магістерська робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Загальний обсяг пояснювальної записки становить 51 сторінку друкованого тексту, містить 8 таблиць, 4 рисунки та 2 додатки. Список літератури включає 25 найменувань. Матеріали роботи послідовно відображають теоретичні основи теми, опис методики досліджень, результати експериментальної частини та узагальнення отриманих даних.

## **1 СТАН ПИТАННЯ І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **1.1 Вплив якісних показників посіву на врожайність культур**

Якість висіву є одним із найважливіших факторів, що прямо впливає на майбутній обсяг урожаю сільськогосподарських культур. Від точності розподілу насіння та дотримання рівномірності залежить характер росту рослин, інтенсивність їх конкуренції між собою, а також здатність повноцінно засвоювати поживні речовини та вологу з ґрунту. Порушення технології посіву здатні спричинити зниження кількості життєздатних рослин на певній площі та негативно позначитися на їхньому розвитку, що в підсумку призводить до втрати частини врожаю.

Правильне і рівномірне розташування насіння в рядках створює для кожної рослини схожі умови для зростання й формування продуктивності. Якщо відстань між насінинами змінюється, зростає конкуренція за світло, поживні елементи та запаси води. Наприклад, при надмірній густоті окремі рослини можуть витіснити інші, сповільнювати їхній розвиток і зменшувати загальну ефективність посіву.

Проте надто розріджене розміщення також є небажаним, оскільки корисна площа поля використовується не повністю, а культура не здатна реалізувати свій біологічний потенціал. Правильно підібраний інтервал між насінинами знижує втрати врожаю через внутрішньовидову конкуренцію та підвищує ефективність використання природних ресурсів.

Глибина загортання насіння також відіграє дуже важливу роль у формуванні здорових ранніх сходів та подальшого росту. Якщо насіння розташоване надто глибоко, воно витрачає значні енергетичні запаси на проростання, що може сповільнити вихід паростків на поверхню або навіть призвести до їх відмирання. Надто мілкий посів, навпаки, збільшує ризик ушкоджень за умов нестачі вологи чи під впливом несприятливих погодних факторів, наприклад, високих температур та вітру.

Крім того, істотною складовою є якість загортання насіння. У разі недостатнього покриття ґрунтом воно може бути пошкоджене або повністю знищене птахами, а також постраждати від швидкого висихання.

Раціональний добір посівного обладнання відіграє суттєву роль у формуванні кінцевого результату вирощування культури. Застосування на практиці сучасних і надійних сівалок, здатних забезпечити точне розміщення насіння на визначену глибину з дотриманням потрібного кроку між насінинами, сприяє формуванню рівномірних сходів та підвищенню врожайності.

Важливе значення має й правильно обрана швидкість руху агрегату під час висіву. Якщо вона буде надто високою, це часто зумовлює втрату точності та розкид насіння, внаслідок чого посів стає нерівномірним. Проте надмірно повільне виконання операції також є недоцільним, оскільки збільшує затрати робочого часу і матеріальних ресурсів. Саме тому необхідно суворо дотримуватися встановлених технологічних рекомендацій, що дозволяють досягти оптимального співвідношення між продуктивністю та якісними показниками посівного процесу.

Одним із ключових факторів, який прямо впливає на кінцеву якість посіву, є стан і властивості насінневого матеріалу. Високоякісний посівний матеріал сприяє отриманню великої частки життєздатних проростків, що зменшує ризик потреби у пересіві й дозволяє сформувати достатню густоту стеблостою.

Не менш суттєвими параметрами залишаються очищення насіння від домішок і ретельне калібрування за розміром. Потрапляння в партію насіння бур'янів або суміш різнокаліберних фракцій негативно впливає на рівномірність розміщення молодих рослин і спричиняє посилення внутрішньовидової конкуренції за ключові ресурси середовища — світло, вологу та поживні елементи. Крім того, бур'янова рослинність відбирає значну частину доступних ресурсів, що неодмінно призводить до зменшення потенційної продуктивності культурних рослин.

Застосування сертифікованого та якісного насінневого матеріалу, що відзначається підвищеною стійкістю до різноманітних хвороб і негативних кліматичних чинників, значною мірою збільшує ймовірність формування високого показника урожайності. Якщо ж використовувати насіння, яке недостатньо очищене або не має чіткого калібрування, це може спровокувати нерівномірне проростання та суттєве зменшення кількості зібраної продукції з одиниці площі.

Важливою складовою ефективного процесу вирощування культур є якісна підготовка ґрунту до проведення посівних робіт. Родючий шар повинен бути добре розпушений, достатньо вологий і забезпечувати щільний контакт посівного матеріалу із землею. Грамотно проведений обробіток поля сприяє покращенню повітрообміну в кореневому шарі та більш повноцінному поглинанню вологи, створюючи оптимальні умови для розвитку кореневої системи.

Рівень якості посіву виступає визначальним чинником, що істотно впливає на продуктивність будь-якої культури. Оптимальна густина рослин на одиницю площі, правильний вибір глибини загортання насіння, використання сучасних машин та інструментів, разом з раціонально організованою підготовкою ґрунту, забезпечують активний ріст і формування потужних рослин, здатних гарантувати стабільний урожай. У сучасних умовах ведення аграрного бізнесу навіть найменші порушення технології висівання можуть негативно позначитися на економічних результатах господарювання, тому чіткий контроль посівних операцій повинен бути одним з пріоритетних завдань.

Вплив технологічної якості висіву на результативність виробництва рослинницької продукції є надзвичайно вагомим, адже саме він забезпечує отримання великих і стабільних урожаїв. Поняття якості посіву охоплює комплекс взаємопов'язаних складових: біологічні властивості насіння, умови виконання агротехнічних заходів, попередній стан ґрунту, вплив погодних явищ, а також застосування ефективних технологій вирощування.

Успішний процес сівби дозволяє забезпечити гармонійне та рівномірне проростання усіх рослин на полі, що стає гарантією подальшого повноцінного формування врожаю.

Коректне проведення посіву напряду впливає на одночасність появи сходів і синхронність розвитку культурних рослин протягом усіх фаз їх росту. Вкрай важливо, щоб у початковий період рослини мали рівні можливості для отримання поживних елементів, світла та вологи. Висока рівномірність посівів забезпечує однакові умови для кожного паростка, що сприяє кращому використанню доступних ресурсів і підвищує здатність культур долати негативний вплив зовнішніх факторів.

Узагальнюючи зазначене, можна стверджувати, що висока якість посівних робіт виступає ключовою умовою формування значного урожаю сільськогосподарських культур. Початкові етапи розвитку рослин прямо залежать від ретельного добору посівного матеріалу, правильного застосування технологій висівання та належної передпосівної підготовки ґрунту. Саме ці чинники у комплексі здатні суттєво впливати на подальший стан рослин і, зрештою, визначати потенційний рівень продуктивності посівів.

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

Технологія висіву з регульованою нормою подачі насіння (VRS) набуває все більшого поширення в системах точного землеробства. Її застосування дає можливість агровиробникам підвищити ефективність формування густоти посіву, змінюючи кількість насіння відповідно до просторових відмінностей у межах поля. Регулювання норм відбувається з урахуванням різноманітних характеристик окремих ділянок, таких як структура та тип ґрунту, рівень його електропровідності, особливості вологозабезпечення, а також попередні показники врожайності. Завдяки цьому підходу забезпечується раціональний розподіл ресурсів, оптимальне використання площі та покращення продуктивності культур, адже кожен

сегмент поля отримує норму висіву, максимально відповідну його конкретним природним умовам.

Наукові напрацювання свідчать, що результативність VRS напряду залежить від можливості визначати всередині поля так звані «зони прийняття рішень». Їх формують шляхом детального аналізу великого набору даних, серед яких властивості ґрунтів, рельєф ділянки, супутникові або дронів знімки дистанційного моніторингу посівів (наприклад, NDVI), а також статистика минулих урожайних показників. Грамотне окреслення таких зон дозволяє аграріям ефективно диференціювати густоту посіву: підвищувати її на фрагментах з високим потенціалом продуктивності та зменшувати на проблемних ділянках, уникаючи надмірних витрат і перевитрати насіння.

Поряд із перевагами існують і певні складнощі, пов'язані з економічним обґрунтуванням впровадження VRS. Рівень прибутковості може відрізнятись залежно від технологічного оснащення господарства, вирощуваної культури, а також масштабів виробництва. Аналітичні оцінки показують, що на фермах із площею понад приблизно 150 гектарів ця технологія частіше дозволяє отримати суттєвий економічний ефект завдяки дії масштабу. Крім того, високий рівень віддачі досягається лише за умови належної сумісності техніки, коректної калібровки систем внесення та можливості інтеграції сучасних сенсорів, які забезпечують точний моніторинг стану ґрунту й навколишнього середовища в реальному часі.

Польові експерименти та аналіз діяльності сільськогосподарських підприємств демонструють ключове значення продуманих стратегій висіву, орієнтованих на використання гібридного насінневого матеріалу. Результати свідчать, що кінцеві показники врожаю значною мірою залежать від оптимально підібраної густоти посіву. Це означає, що продуктивність культур підвищується лише до певного раціонального рівня, після якого надмірне збільшення кількості висіяного насіння викликає зворотний ефект та призводить до зниження врожайності. Тому надзвичайно важливо

проводити точне налаштування параметрів VRS-технологій, щоб досягти гармонійного поєднання раціонального використання ресурсів і високих показників урожаю.

У цілому, хоча технології змінних норм висіву (VRS) надають суттєві агрономічні та економічні вигоди, їх застосування вимагає грамотного планування, прорахованих рішень та постійного адаптивного управління залежно від умов конкретного поля. Систематичний контроль результативності через польові випробування, аналіз інформації та моніторинг урожайності має критичне значення для отримання довготривалих переваг. Подальший розвиток систем сенсорного контролю стану посівів, вдосконалення інструментів обробки великих масивів даних, імовірно, суттєво посилить ефективність VRS, зробивши технологію доступнішою та ще кориснішою для виробників різного розміру та в умовах різноманітних агроландшафтів.

На даний час фермери прагнуть не просто підвищити урожайність культур, а й водночас раціонально використовувати ресурси, забезпечуючи стабільний рівень прибутковості господарювання. Вартість матеріальних ресурсів у агровиробництві вже тривалий час зростає, а посилені вимоги до екологічної відповідальності спонукають впроваджувати прогресивні підходи, які ґрунтуються на принципах сталості та науково обґрунтованого менеджменту. Масова доступність глобальних супутникових навігаційних систем, зокрема GPS, відкрила шлях до формування напрямку, що нині відомий під назвою «точне землеробство» (Precision Agriculture, або PA). Спершу у практику аграріїв увійшли системи навігації на основі GPS у поєднанні з технологіями картування врожайності, а вже після цього почався розвиток автоматизованих рішень зі змінними нормами (VRT). З часом подібні інновації стали стандартними функціями сучасної сільськогосподарської техніки та активно впливають на підвищення ефективності виробництва.

Сучасні сівалки, призначені для вирощування просапних культур, сьогодні обладнуються електричними або гідравлічними приводами, а також спеціальними бортовими системами контролю, розташованими в кабіні тракториста. Це забезпечує можливість оператору впроваджувати технологію змінної норми висіву (VRS) безпосередньо під час польових робіт. Завдяки використанню такого регулювання норми висіву, у поєднанні з постійним подорожчанням посівного матеріалу та нерівномірністю агрономічних умов на полях, інтерес до технології VRT серед фермерів продовжує суттєво зростати. Її застосування розглядається як один із ключових інструментів у зниженні виробничих ризиків і підтриманні стабільної рентабельності вирощування сільськогосподарських культур.

Кукурудза й надалі утримує позиції однієї з провідних сільськогосподарських культур світового масштабу. Початковий етап вирощування — процес посіву — має вирішальне значення для всієї вегетації, адже саме він належить до найвідповідальніших технологічних операцій у полі. Від коректно встановленої густоти стояння рослин і точного позиціонування кожного насінини в рядку залежить дружність появи сходів, гармонійний розвиток рослинного організму та формування майбутньої врожайності.

Неточності, допущені під час висіву, можуть негативно позначатися на стані культури протягом усього періоду вегетації. Насінневий матеріал для пробудження повинен увібрати вологу з ґрунтового середовища. Вологість у зоні закладання насінини визначає швидкість появи проростків і своєчасність формування початкових органів. Забезпечення оптимальних умов виконання посівних операцій, належної продуктивності сівалки та відповідної якості агротехнічного процесу є фундаментом ефективного використання потенціалу гібридів кукурудзи.

Стадія появи сходів кукурудзи характеризується тим, що насіння проростає і виносить проросток над поверхню ґрунту. У регіонах, де вирощування цієї культури має стратегічне значення, вже давно

встановлено: для досягнення високих урожаїв вирішальним чинником є стабільна рівномірність проростання. Результати попередніх досліджень переконливо демонструють, що ранні та одночасні сходи відіграють ключову роль у формуванні значного валового збору зерна.

Посівний процес охоплює комплекс підготовчих і технологічних операцій: належне оброблення ґрунту з утворенням борозни на визначену глибину, точне розміщення в ній посівного матеріалу, а також якісне прикриття насіння ґрунтом, що здійснюється за допомогою спеціальних притискних котків на просапній сівалці. Усі ці дії спрямовані на створення сприятливого середовища для отримання дружних та сильних сходів, що у кінцевому підсумку забезпечує максимально можливий прояв урожайного потенціалу культури.

Завершення цих операцій у більшості випадків не гарантує однакового проростання культур, особливо в південно-східних районах, де в межах одного поля може спостерігатися значна неоднорідність ґрунтового покриття. Йдеться, наприклад, про контрастні відмінності у структурі, механічному складі та інших характеристиках ґрунтів. На рівномірність появи сходів кукурудзи впливають численні чинники: недосконалі умови під час проведення сівби, можливі зміни погоди упродовж періоду вегетації, а також неточності під час налаштування сівалки й помилки оператора. Усі ці обставини ускладнюють отримання дружних сходів культури в означеному регіоні.

Серед найпоширеніших у наукових джерелах факторів, що визначають якість проростання, виділяють фізичні властивості ґрунту, зокрема стан його структури та рівень вологості під час висіву. Не менш важливою є глибина розміщення насіння в борозні, а також притискна дія — тиск, який створюють опорні колеса сівалки на поверхню оброблюваного шару для забезпечення контакту насіння з ґрунтом.

Через значну просторову мінливість ґрунтових умов підтримувати стабільну глибину закладання насіння, необхідну густоту стояння рослин і

задану відстань між окремими насінинами є складним технологічним викликом. Системи точного землеробства разом із технологіями варіативного внесення (VRT) відкривають можливості детального контролю за роботою сівалки безпосередньо в процесі виконання операції. Однак критично важливим аспектом залишається достовірність та точність інформації про посів, а саме — наскільки повно дані здатні відобразити фактичне положення насіння на полі.

Провідною темою розвитку точного землеробства нині виступає використання «великих даних» та їх інтеграція у виробничі процеси аграрного сектору. Хоча програмні продукти для обробки та управління аграрними даними почали з'являтися ще в середині 1990-х років, кількість фермерів, зацікавлених у накопиченні інформації, сформованої на власних підприємствах, постійно зростає. Сучасні виробники прагнуть застосовувати ці цифрові ресурси для отримання корисних аналітичних висновків, що сприятимуть ухваленню ефективних управлінських рішень у господарстві.

Поняття «прийняття рішень, заснованих на даних» зазвичай використовується для опису цього підходу. Формування системи VRS для вирощування кукурудзи на господарському рівні включає низку ключових складових. Серед них: застосування відповідних інструментів точного землеробства, а також детальне усвідомлення умов культивування культури в межах кожного конкретного поля. Для цього агроменеджеру вже недостатньо покладатися на власний практичний досвід і інтуїцію — необхідне активне залучення просторових інформаційних ресурсів з метою виділення управлінських зон, у яких встановлюються індивідуальні норми висіву. До основних картографічних шарів, що потрібні для побудови подібних зон, належать карти ґрунтового покриття, цифрові моделі рельєфу місцевості та показники фактичної урожайності.

У сучасному агровиробництві карти урожайності разом із картами-завданнями на висів набувають усе більшого значення. Адже обидва типи

інформації дають можливість проаналізувати рівень впровадження технологій диференційованого висіву (VRS) та оцінити їхню окупність для конкретного поля або окремої культури. Брак хоча б одного з таких інформаційних рівнів створює перешкоди для достовірного аналізу технологічних рішень і здатен призвести до хибної інтерпретації результатів, що матиме негативний вплив на дохідність господарства. Важливо наголосити, що будь-який тип просторових даних характеризується певним рівнем точності та надійності. Якщо карти не відповідають вимогам до якості, то це спричиняє похибки у висновках, а отже й застосування неправильних управлінських дій. Тому для правильного виділення зон диференційованого висіву кукурудзи потрібні достовірні й регулярно оновлювані дані, які часто коригуються та доповнюються за результатами тривалого збору інформації протягом кількох циклів вирощування.

Багато наукових досліджень засвідчили існування проблемних аспектів щодо точності електронних карт, які використовуються на сільськогосподарських машинах, оснащених системами VRT, та їхньої відповідності реальним просторовим показникам продуктивності. Отже, успішність застосування великих даних у виробництві продукції рослинництва залежить не тільки від технічного рівня обладнання, що експлуатується на підприємстві, але й від кількості й достовірності доступних інформаційних шарів про кожне поле. Тільки за таких умов підготовлені аналітичні матеріали здатні генерувати корисні висновки, які землевласники та менеджери можуть застосовувати для підвищення ефективності управлінських рішень і оптимізації агротехнологій.

Наше дослідження було виконане для поглибленого аналізу сучасних перспектив застосування технології варіабельного висіву (VRS) кукурудзи у південних регіонах. Останнім часом простежується помітне розширення зацікавленості такою технологією: кількість сервісів VRS, що пропонуються як насінневими компаніями, так і зовнішніми структурами,

котрі спеціалізуються на управлінні аграрними даними та послугах точного землеробства, стабільно зростає. Дані про посівні операції разом із картами врожайності виступають ключовим інформаційним ресурсом для коректної оцінки стану поля та для ретельного налаштування зонального управління, яке є основою функціонування систем VRS.

Ми виходимо з того, що поєднання високої технічної ефективності обладнання для прецизійного розміщення насіннєвого матеріалу з детальним просторовим аналізом параметрів посівного процесу має вирішальне значення для якісного запровадження технології варіабельних норм висіву, орієнтованої на використання сучасних цифрових інструментів.

Головним завданням цієї роботи було визначити фактичну польову продуктивність обладнання для варіабельного висіву насіння кукурудзи, а також дослідити достовірність інформації, яку реєструють датчики під час посіву, для оцінки реальної якості виконання технологічних операцій. Конкретизуючи, дослідження передбачало аналіз роботи сівалки за різних параметрів глибини загортання насіння та зміни притискного зусилля, що здійснювалось шляхом вимірювання фактичної глибини розміщення насіння і контролю появи сходів у польових умовах. Окрім цього, було приділено увагу роботі окремих складових посівного комплексу (висівного механізму, системи регулювання норми висіву) задля досягнення бажаних результатів при використанні технології VRS.

## 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження здійснювали протягом усього вегетаційного сезону 2025 року. Основною системою корекції GPS, застосованою для технологій точного землеробства під час експериментів, була RTK. У рамках цього дослідження застосовували 6-рядкову інтегровану просапну сівалку від компанії John Deere з висівними апаратами MaxEmerge. Для підвищення ефективності сівалки її обладнали стандартними зубчастими очисниками рядків та комплектом гумових загортаючих коліс, розташованих позаду сошникових дисків. Налаштування очисників та коліс виконували відповідно до домінуючих ґрунтових характеристик на обраних ділянках. Секції сівалки мали міжряддя 70 см.

У всіх висівних секціях використовували потужні притискні пружини, що за номінальними характеристиками не створювали додаткового тиску, або могли бути відрегульовані для забезпечення додаткової притискної сили у 0,45, 1,11 або 1,76 кН, що відповідало нульовому, низькому, середньому та високому рівню зусилля на кожен рядок. Регулювання глибини висіву проводилося за допомогою Т-подібної рукоятки, яка обмежує положення направляючих коліс кожної секції. Гідравлічна система управління Trimble Rawson забезпечувала зміну норм висіву та функціонувала через технологію Trimble Field IQ.

Джерелом енергії для сівалки служив трактор John Deere 8130, обладнаний системою Trimble Auto-Pilot, що використовувала опорну віртуальну станцію для RTK-корекції. У всіх тестових варіантах застосовувався монітор Trimble FMX з можливістю регулювання норми висіву та контролю процесу посіву по кожному рядку. Також для відстеження ключових параметрів посіву використовувався дисплей Precision Planting 20/20 SeedSense. Кожна насіннева трубка оснащувалася високошвидкісним сенсором Dickey-John, який забезпечував зворотний

зв'язок із системами Trimble. Перед початком посіву на всіх ділянках проводили смуговий обробіток ґрунту.

Була створена спеціальна система збору даних для сівалки, що дозволяла вести моніторинг та фіксацію параметрів посіву у реальному часі. Серед контролюваних показників — фактична швидкість роботи дозатора та рівень прискорень і вібрацій висівного агрегату. Отримані дані просторово корелювалися за допомогою приймача диференціальної GPS (DGPS), що давало змогу формувати точні просторові карти для подальшого детального аналізу.

Частоту обертання висівного апарату під час посіву визначали за допомогою спеціального кодера, що генерує 3600 імпульсів за один повний оберт (TRD-GK, Японія). Приймач Raven Industries 200 був змонтований на сівалці уздовж центральної осі рядків. Система збору даних була реалізована з використанням програмного забезпечення NI LabView та плати NI USB 6245 DAQ, що забезпечує дискретизацію сигналу з частотою 10 Гц. Додатково застосовувався інтерфейс користувача, який дозволяв у режимі реального часу спостерігати всі параметри посіву на ноутбучі під час польових робіт. Отримані дані надалі використовували для формування електронної карти стану посіву, що відображає реальну густоту рослин на полі.

Для проведення досліджень продуктивності сівалки було відібрано три поля, на яких виконували два різні експерименти. Перший експеримент полягав у визначенні ефективності роботи посівного агрегату на двох глибинах закладення насіння — 25 та 51 мм — і при чотирьох варіантах тиску висівного апарату, від мінімального до максимального, що формувало загалом вісім різних комбінацій параметрів. У всіх випадках застосовували середню норму висіву 65 200 насінин на гектар при постійній швидкості руху 7,0 км/год із відповідним налаштуванням висівного апарату Pr. Planting eSet meter.

Було вибрано дві ділянки з різними, проте відомими властивостями ґрунту; перша ділянка мала супіщаний ґрунт, тоді як друга відзначалася глинисто-суглинковою структурою. Основними факторами впливу у цьому дослідженні були глибина посіву та величина притискної сили (разом із притискним тиском). Початкову глибину висіву визначили за допомогою налаштування Т-подібної рукоятки сівалки з використанням режиму навантаження 1,11 кН. Після встановлення параметрів посіву на 25 та 51 мм їх застосували на обох полях. На кожній ділянці усі операції проводилися чотири рази. Кожна повторність включала всі вісім режимів обробки ґрунту (рис. 1) і представляла собою окрему диференційовану ділянку. Експеримент був організований так, що кожний прохід посівної машини відповідав окремому режиму посіву, випадково розташованому в межах повторності (рис. 1). Смужки різного кольору демонстрували схему проходів машини у першій повторності. План дослідження ґрунтувався на рандомізованому блочному дизайні: комбінації глибини посіву та величини притискної сили випадково призначалися кожній смузі, утворюючи вісім незалежних обробок. Ширина кожної смуги складала 5,5 м, довжина — приблизно 4,85 м, що відповідало шести рядкам сівалки. Збір даних проводили по умовній сітці, а місця відбору проб визначали через шість трансектів, проведених через кожне поле (рис. 1). Кожна смуга відповідного кольору на карті відображала прохід сівалки з конкретною комбінацією глибини висіву та рівня притискної сили. Посів повторювався чотири рази на кожній ділянці, зберігаючи випадкове розташування, як показано у першій повторності.

Дані збиралися на перетині зазначених трансектів та кожного проходу, що в сукупності охоплювало 192 точки відбору проб. На кожній точці фіксували такі параметри: вологість ґрунту під час посіву, чисельність рослин після появи сходів і фактичну глибину загортання насіння. Вологість визначали безпосередньо під час висіву за допомогою приладу HydraProbe, знімаючи по одному значенню для кожної точки спостереження. Кількість

рослин враховували на ділянці довжиною 7,6 метра, яку випадково обирали в одному з рядків культури на місці відбору.

Відсоток проростання насіння обчислювали як відношення кількості пророслих рослин до цільової норми висіву на гектар. Фактичну глибину загортання насіння вимірювали після проведення посіву, коли кукурудза досягала стадії розвитку від V1 до V2. Методика полягала у виборі 10 випадково відібраних рослин із чотирьох рядків (по 2–3 з кожного ряду) на ділянці шириною однієї секції довжиною 7,6 метра для кожної точки відбору, після чого визначали відстань від центру насінини до поверхні ґрунту. Ці значення розглядали як фактичну глибину висіву кукурудзи та порівнювали з заданою глибиною для подальшого аналізу.

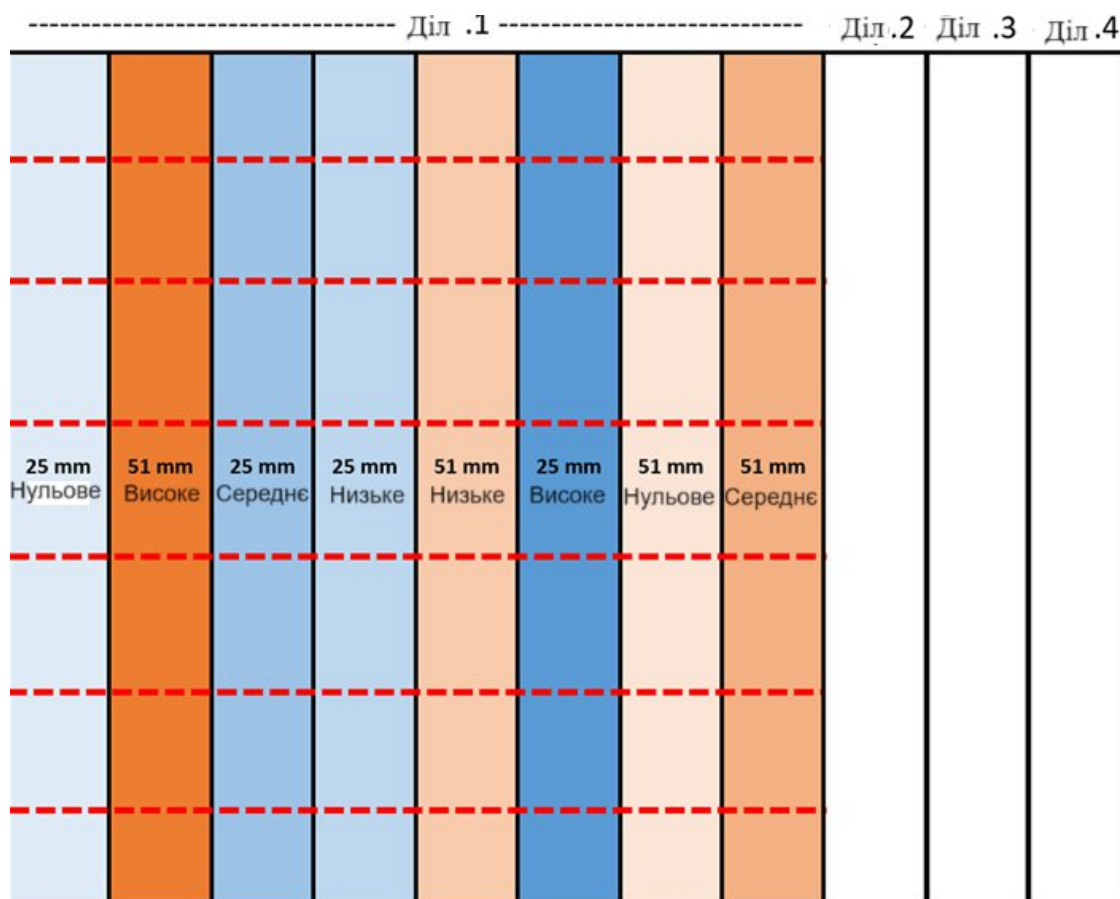


Рис. 1 - Схема поля 2 для глибини посіву за допомогою експерименту з притискною силою, що ілюструє вісім різних комбінацій обробки в першій повторності та шість трансект (червоні лінії), що представляють місця відбору проб для кожної ділянки

Другий експеримент, проведений на полі №3, був спрямований на визначення ефективності роботи посівної машини при застосуванні системи VRS. Для цього використовували два типи висівних апаратів — John Deere St. та eSet, які тестувалися за п'ятьма різними нормами висіву: 49,4, 59,3, 69,2, 79,1 та 89,0 тис. насінин/гектар. Крім того, сівбу здійснювали на чотирьох швидкостях руху трактора: 6,1; 7,1; 8,2 та 9,4 км/год. У результаті кожен із висівних апаратів пройшов випробування в 20 окремих посівах.

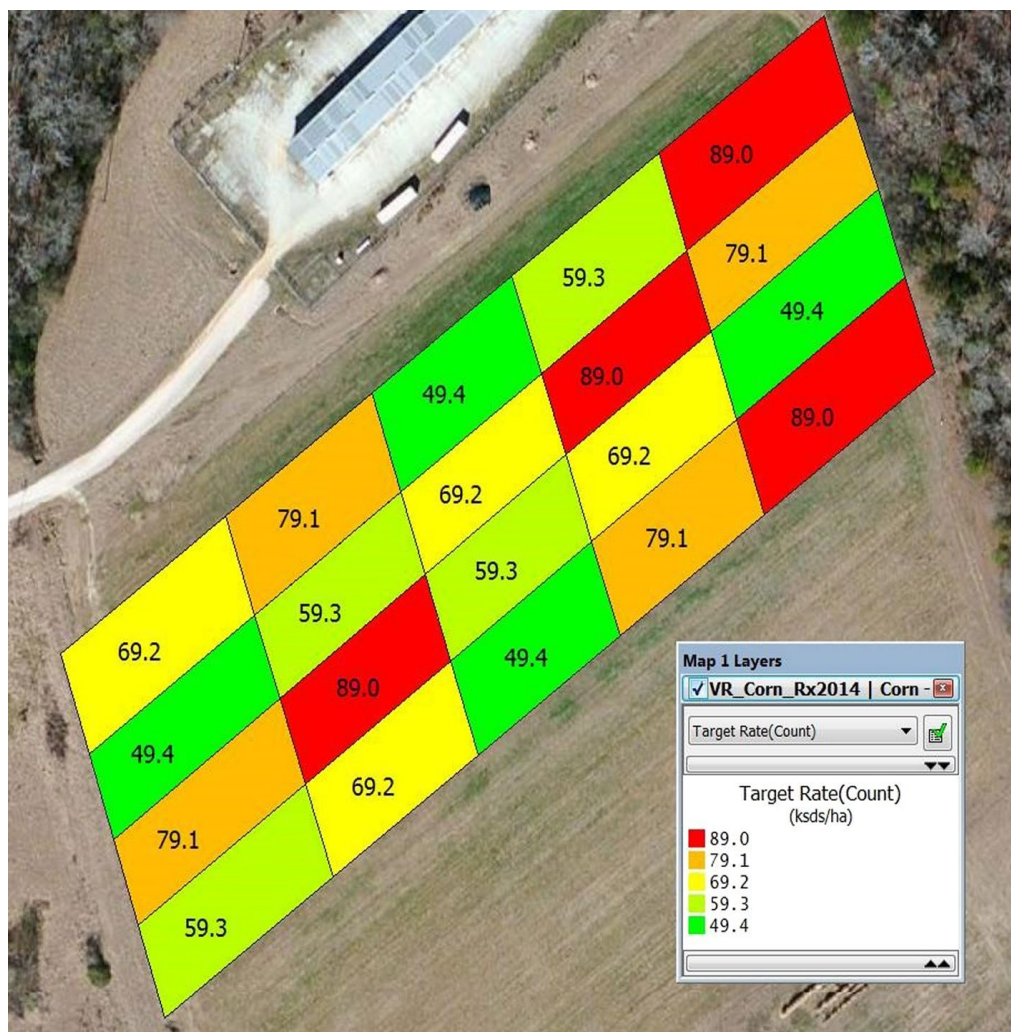


Рис. 2 - Карта висіву кукурудзи (Rx), що ілюструє норму висіву (тис. насінин/га) шляхом реплікації для поля 3

Кожен окремий прохід сівалки відбувався як самостійна обробка на визначеній швидкості руху з варіацією норм висіву (диференційоване внесення) в межах обраного швидкісного режиму. Карти-завдання для посіву (Rx) створювалися у програмі AgLeader SMS Advanced, після чого експортувалися для подальшого відображення у відповідному форматі. На

рисунку 2 наведено карту норм висіву, які були випадково розподілені у такому ж порядку для кожного повторення. Усі операції проходили рандомізацію і повторювалися чотири рази, загалом здійснено 20 процедур. Дослідження реалізовувалося за схемою strip-split на дослідних ділянках. Розмір кожної ділянки складав 5,5 м по ширині (відповідно до захвату 6-рядної сівалки) та 53,3 м по довжині.

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 із режимів посіву здійснювали після досягнення необхідної швидкості руху посівного агрегату перед заїздом на дослідну ділянку, а також з підтриманням стабільної швидкості під час виконання посівних

операцій на всіх режимах із встановленою нормою висіву для кожного окремого ряду. Окрім цього, було визначено число обертів диска висівного апарата (об/хв), яке відповідало різним поєднанням швидкості руху машини та норми висіву насіння (табл. 1), для міжрядної відстані 70 см, оскільки обертова частота апарата залежить від швидкості агрегату, норми висіву та ширини міжрядь. В центрі кожної дослідної ділянки збирали інформацію про проміжки між рослинами в чотирьох середніх рядках (ряди 2 і 3 для апарата John Deere St., а ряди 3 і 4 для апарата eSet) після появи сходів. Для цього вимірювали відстані між послідовними 50 рослинами вздовж кожного ряду. Два крайні рядки (1 і 6) залишали як буферні на кожній ділянці. Загальна довжина для 50 послідовних рослин у кожному ряду була зафіксована, а щільність рослинної популяції (рослин/га) обчислювалась шляхом ділення 50 рослин на площу ряду, визначену як помножена довжина на ширину міжряддя. Відсоток схожості оцінювали, порівнюючи фактичну чисельність рослин із заданою нормою висіву для кожної ділянки.

Середня відстань між рослинами кукурудзи та стандартне відхилення використовували для обчислення коефіцієнта варіації (CV%), який служить показником рівномірності розташування рослин під час сівби. Менші значення CV свідчать про більш однорідне розташування рослин, що є оптимальним для посіву просапних культур. У місцях переходу з однієї норми висіву на іншу, точка, зафіксована за допомогою портативного GPS-пристрою, вимірювалася по довжині чотирьох центральних рядів із застосуванням рулетки з точністю  $\pm 0,25$  см. Оскільки швидкість посівного агрегату залишалася постійною під час кожного проходу, ці дані використовували для розрахунку часу зміни норми висіву. Після завершення сівби інформація про популяцію рослин була зафіксована через наявний дисплей VR у кабіні трактора для обох дослідів і далі оброблялася для порівняння продуктивності сівалки на основі фактичних польових спостережень.

Усі отримані результати були структуровані в Microsoft Excel. Для першого експерименту задану глибину загортання насіння та силу притискування розглядали як головні фактори впливу, тоді як схожість і реальна глибина висіву слугували змінними відповіді. Було проведено двосторонній дисперсійний аналіз із використанням програмного забезпечення SAS для статистичного опрацювання, що дозволило визначити значущість впливу основних факторів на показники відповіді та виявити можливі взаємодії між ними.

У другому досліді частота обертів диска висівного апарату застосовувалася як змінна технологічного процесу для виконання одностороннього аналізу з показниками появи рослин та коефіцієнтом варіації в ролі змінних відповіді. Оскільки оберти диска залежать від швидкості руху сівалки та встановленої норми висіву, що реалізовували на поділених ділянках поля, при проведенні статистичної обробки враховували відповідні похибки згідно з планом експерименту. Дані щодо часу здійснення переходу, зібрані під час досліду VRS, також аналізувалися з урахуванням швидкості агрегату та норми висіву як основних чинників і з розгляданням часу переходу як змінної реакції. Усі статистичні порівняння проводилися з рівнем значущості 95% та альфа = 0,05.

## **3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ**

### **3.1 Дослідження глибини посіву та притискної сили**

Перший етап дослідження, який був спрямований на оцінювання притискного навантаження секцій зерновисівної техніки та контроль глибини загортання насіння, дав можливість усвідомити, наскільки саме ці два регульовальні параметри машини здатні впливати на реальну глибину розміщення насіння під час сівби. Слід урахувати той факт, що на просапних сівалках класичного типу зазначені показники оператор у більшості випадків налаштовує лише один раз перед початком польових робіт і надалі не змінює їх у межах усього поля або навіть кількох полів підряд. Зазвичай коригування параметрів виконується тільки у випадку раптової та суттєвої трансформації стану ґрунту чи інших агрономічних умов у процесі посіву.

У таблиці 2 подано узагальнені результати щодо середнього рівня вологості ґрунту, фактичної глибини висіву та показника схожості культур для ділянок 1 та 2. Проведення статистичної оцінки засвідчило наявність істотних розбіжностей у вологості ґрунтового середовища ( $p < 0,0001$ ), у глибині розміщення насіння ( $p < 0,0001$ ), а також у рівні отриманої схожості ( $p = 0,0270$ ) між двома випробуваними полями. Відмінності у величинах вологості для полів 1 і 2 свідчать про помітну неоднорідність цього показника в межах дослідних ділянок. Поле 1 можна охарактеризувати як відносно більш сухе, оскільки рівень водозабезпечення ґрунту на ньому був нижчим порівняно з другим полем.

Отримані дані продемонстрували, що на полі 1 висів зазвичай здійснювався на трішки меншу глибину, ніж на полі 2. Це пояснюється тим, що середня глибина закладання насіння на полі 2 становила приблизно 39 мм, що є більшою порівняно з фактичним заглибленням у 35 мм на першому полі. Ймовірною причиною такої різниці може бути варіювання рівня

зволоженості ґрунтів на цих ділянках, адже за підвищеної сухості землі сівалка з ідентичними налаштуваннями зазвичай закладає насіння менш глибоко. Водночас коливання реальних значень глибини посіву на обох полях виявилось незначним — стандартні відхилення не перевищували 7 мм, що свідчить про достатньо стабільну роботу висівних апаратів.

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

Порівнюючи середні показники схожості, можна зазначити істотну різницю між полями, хоча загальна продуктивність на полі 1 поступалася лише на один відсоток полю 2. Рівень проростання рослин у межах 95–96% вважається доволі високим для умов даних ділянок, проте він дещо нижчий за результати попередніх випробувань на кукурудзі, де сходи часто досягали 96–99%. Невеликі стандартні відхилення, що знаходилися в діапазоні 4–5% на кожному полі, підтверджують доволі рівномірне та синхронне проростання насіння.

Підсумки виконаного дисперсійного аналізу щодо впливу основних чинників — встановленої глибини загортання насіння, рівня прикладеної притискної сили, а також їхньої взаємодії «глибина посіву × притискна сила» для двох експериментальних полів — подано у таблиці 3. Проведений статистичний розрахунок переконливо свідчить, що реальна глибина розміщення насіння в ґрунті істотно залежала ( $p < 0,0001$ ) як від заданої величини загортання, так і від сили притиснення сошника на обох ділянках. Показники схожості виявили помітні відмінності між цільовими значеннями глибини висіву на полі 1, тоді як на полі 2 подібної тенденції зафіксовано не було. Для обох дослідних територій притискна сила не мала статистично значимого впливу ( $p > 0,05$ ) на відсоток пророслого насіння. Аналіз взаємодії факторів «глибина × притискна сила» також не продемонстрував достовірної дії ( $p > 0,05$ ) на остаточну глибину загортання та рівень схожості рослин. У таблиці 4 наведено середні показники фактичної глибини загортання і відсоткові значення успішного проростання для кожного поєднання основних параметрів (задана глибина — притискна сила) окремо для обох полів спостереження.

На двох дослідних ділянках спостерігалася закономірність: фактичне загортання насіння було більшим за умови встановлення цільової глибини 25 мм і, навпаки, дещо зменшувалося при налаштуванні 51 мм. Для першого поля відсоток пророслого насіння на глибині 25 мм становив 93%, що є помітно нижчим від показника 97%, зафіксованого при глибшому висіві 51

мм. Така різниця вказує на певне зниження польової схожості культури на малій глибині загортання саме на цій ділянці.

Середній рівень схожості, отриманий на полі 2, в обох випробуваних варіантах глибини (25 та 51 мм), складав 96%, що свідчить про відсутність суттєвого впливу цього фактора на результати проростання. На кожному з полів реальна глибина загортання насіння демонструвала тенденцію до збільшення зі зростанням прикладеної притискної сили, причому максимальні значення досягалися при вищих налаштуваннях тиску робочого органу.

Однак результати проведеного статистичного опрацювання даних підтвердили, що помітні відмінності за показником глибини загортання насіння фіксувалися виключно між варіантом посіву без будь-якого притискного зусилля та всіма іншими режимами, у яких застосовувалась певна величина тиску на сошники. Незважаючи на те, що подібно низький рівень притискної сили або повна її відсутність майже ніколи не використовується сільгоспвиробниками під час висіву кукурудзи у даному агрокліматичному районі, встановлений вплив величини притискного зусилля на забезпечення необхідної глибини вкладення насінин особливо чітко проявляється саме за мінімальних значень тиску. Це свідчить про існування певної мінімальної межі притискної сили, нижче якої можлива поява значних коливань реальної глибини посіву на полі. Відповідно, якщо притискне навантаження не підтримується на рівні, вищому за такий мінімум, зростає ризик отримання нерівномірних сходів через непостійну глибину загортання насіння.

Разом із тим, фактична глибина посіву не демонструвала суттєвих розбіжностей між варіантами зі встановленими рівнями притискного зусилля — низьким, середнім та підвищеним. Такий результат свідчить про відсутність прямого впливу збільшення притискної сили у цьому діапазоні на якість дотримання заданої глибини висіву.

На першому дослідному полі спостерігалася певна тенденція до зростання польової схожості із підвищенням прикладеної притискної сили на сошники, проте статистично підтверджених різниць між варіантами не виявлено. На другій ділянці спостерігалися відмінності у схожості між низьким і високим рівнем притискного зусилля: при застосуванні більшого тиску відсоток пророслих рослин досягав 97%. Хоча різниця між окремими результатами залишилася статистично недостовірною, це може бути пов'язано з тим, що збільшене притискне навантаження забезпечило кращий контакт насіння з ґрунтовими частинками при конкретних характеристиках ґрунту та наявних умовах його зволоження на цій ділянці, що, у свою чергу, сприяло формуванню більшої кількості здорових та дружних сходів.

Водночас результати проведеного дослідження демонструють значну складність у забезпеченні постійності заданої глибини висіву кукурудзи, якщо використовувати лише одне встановлене значення глибини та силу притиску сошників. Реальні показники можуть досить різко змінюватися залежно від рівня різномірності ґрунтових характеристик на окремих ділянках поля.

Крім того, аналіз отриманої інформації з дослідних ділянок 1 і 2 засвідчив, що одним із провідних факторів, який визначав появу та швидкість розвитку сходів, став показник вологості ґрунтового шару у зоні розміщення насіння. Додатково значна просторово-часова мінливість запасів ґрунтової вологи на полі може погіршувати рівень схожості у поєднанні з помилковим або недостатньо точним вибором параметрів глибини та притискної сили під час висівних робіт. Подібні висновки наголошують на важливості не лише глибокого розуміння процесів, що відбуваються у момент сівби, а й необхідності впровадження сучасних технологічних рішень, які здатні оперативно реагувати на зміну умов та підвищувати результативність роботи сівалки.

### 3.2 Дослідження висіву зі змінною нормою

З отриманих результатів дисперсійного аналізу, проведеного для оцінювання параметрів висіву за технологією змінних норм (VRS), встановлено, що відстань між окремими рослинами істотно відрізнялася ( $p < 0,0001$ ) залежно від частоти обертання дисків висівних механізмів J. Deere Standard та Pr. Planting eSet meter (Табл. 5).

Такий висновок є логічним, оскільки формування інтервалу між рослинами прямо пов'язане з установленою нормою висіву, яка визначає швидкість обертання висівних елементів. У випадку з Pr. Planting eSet коефіцієнт варіації (CV) значною мірою залежав від режиму частоти обертів ( $p = 0,0021$ ), тоді як для JD Standard зміна швидкості обертання диска не спричинила статистично значущого впливу на CV.

Додатково статистична обробка підтвердила, що для обох аналізованих висівних систем не виявлено відчутних відмінностей у показнику схожості ( $p > 0,05$ ) при зміні частоти обертання дисків. Це свідчить про відсутність впливу швидкості роботи висівного апарата на кількість отриманих сходів у польових умовах.

У табл. 6 наведено узагальнені результати вимірювань середньої дистанції між рослинами, значень CV та показників схожості, отриманих під час експериментів при різних обертах висівних механізмів.

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

За результатами дослідження встановлено, що фактична відстань між висіяними рослинами у варіанті з висівним апаратом JD Standard коливалася в межах приблизно 2–13 мм відносно налаштованої норми, тоді як для

системи eSet цей показник перебував у діапазоні 2–11 мм. Отримані дані свідчать про те, що величина інтервалу між окремими рослинами змінюється залежно від частоти обертання диска висівного механізму.

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

Це пояснюється тим, що продуктивність висівного апарата безпосередньо залежить від встановленої норми висіву та швидкості пересування сівалки під час виконання технологічної операції. Таким чином, будь-які відхилення у заданій нормі подачі насіння або зміни швидкісного режиму руху машини зумовлюють варіації цільового проміжку між насінинами, що впливає на рівномірність формування рослинного ряду.

Для обох розглянутих висівних механізмів простежувалася подібна загальна закономірність: під час підвищення частоти обертання висівного

диска відбувалося збільшення значень коефіцієнта варіації CV. Проте для моделі John Deere Standard суттєвих розходжень між показниками CV на різних швидкостях обертання диска практично не фіксувалося, тобто зміни мали незначний характер.

Отримані під час експериментів результати для Pr. Planting eSet демонстрували в середньому нижчі показники CV порівняно з J. Deere Standard. Для стандартного апарату John Deere рівень коефіцієнта варіації досягав 31,2% і навіть більше при обертаннях висівного диска понад 25 об/хв, а максимальна величина сягнула 36,4%. Водночас у модифікованого дозатора eSet перевищення 31% спостерігалось при частотах понад 28,5 об/хв, де найбільше значення становило 33,8%.

Для Precision Planting eSet встановлено, що виміряні значення CV при частотах 27,7; 37,2; 38,2 і 43,0 об/хв істотно відрізнялися від того коефіцієнта варіації, який було досягнуто при мінімальній частоті — 15,4 об/хв. Це означає, що рівномірність розташування насіння помітно погіршується у разі збільшення кількості обертів диска, тобто зростання швидкості подачі насіння негативно впливає на однорідність висіву.

Результати лабораторних досліджень обох типів дозувальних систем, проведених на спеціальному стенді напередодні посівних робіт, показали додаткову важливу особливість: продуктивність апаратів може суттєво зменшуватися при надто високих частотах обертання, що перевищують 38 об/хв. Це свідчить про певні конструктивні або технологічні обмеження у забезпеченні стабільності висівного процесу на підвищених режимах.

Загальна польова схожість насіння, висіяного обома автоматами, коливалася у межах 93–99%. При цьому найнижчі значення схожості (93–95%) були зафіксовані для обертів висівного диска 32,1; 37,2 і 43,0 об/хв у кожного з них. Таким чином, обидва дослідні апарати забезпечили практично однакові показники проростання, і при збільшенні частоти обертання не простежувалося чітко вираженої тенденції до погіршення або покращення якості схожості насіння.

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

Додатні значення параметра переходу свідчать про підвищення швидкості руху, тоді як від'ємні показують її уповільнення. Аналіз отриманих експериментальних даних продемонстрував, що рівномірність просторового розміщення рослин у рядках та показники схожості не залежали від частоти обертання висівного механізму в обох типах дозаторів. Винятком є лише значення коефіцієнта варіації, зафіксовані при найнижчих значеннях частоти (15,4 об/хв), а також при трьох високих швидкостях обертання висівного диска (37,2; 38,2 та 43,0 об/хв) у системі Pr. Planting eSet, де спостерігалися певні відхилення.

Польові результати використання системи VRS на ділянці №3 засвідчили, що шлях, який повинна була пройти сівалка для переходу до нової норми висіву, становив не більше ніж 2,0 метри. При цьому довжина даного переходу не мала залежності від величини зміни норми висіву. Переведення цих даних у часові показники показало, що період реакції висівного обладнання зі змінною нормою висіву на зміну завдання був близьким до 1 секунди або навіть меншим. Така тенденція залишалась

сталою при роботі агрегату на різних швидкостях. Статистично значущих відмінностей у часі переходу між будь-якими режимами швидкості руху не зареєстровано (див. табл. 7).

Єдиним зафіксованим трендом стало слабке зменшення часу переходу при збільшенні робочої швидкості, що є логічним, оскільки пройдена під час коригування норми висіву відстань залишалась сталою незалежно від налаштувань. Додаткові спостереження зміни швидкісного режиму на межах зон керування (табл. 8) показали надзвичайно стабільний час переходу — від 0,7 до 1,0 секунди — незалежно від того, відбувалося прискорення чи уповільнення. Отже, швидкість руху агрегату та величина зміни швидкості не мали суттєвого впливу на тривалість реакції системи. Така стабільність свідчить про високу оперативність та надійність технології VRS у цьому дослідженні. Подібна властивість є надзвичайно важливою для сівалок зі змінною нормою висіву, оскільки мінімізація затримок під час переходів між зонами знижує ймовірність помилок у виконанні карт приписів.

Для кращого розуміння та порівняння фактичного висіву було створено два графічні матеріали: один відображає відхилення між реальною нормою висіву та картою приписів (рис. 3), інший — різницю між фактичною нормою та картою, сформованою дисплеєм VR (рис. 4). Слід зазначити, що під час першого проходу посів зі змінною нормою не було активовано через помилку оператора, тому дані цього проходу виключено з аналізу (рис. 3b та 4b). Порівняння інформації після висіву (рис. 3) показало наявність певної затримки між моментом коригування висівної норми та фактичним перетином межі зони керування.

Рух агрегату в різних напрямках впливав на величину цієї затримки: при русі із заходу на схід вона становила приблизно вдвічі менше, ніж у протилежному напрямку. Середнє значення затримки в напрямку із заходу на схід дорівнювало 3,8 м, з максимальною величиною 5,5 м, тоді як у напрямку зі сходу на захід затримка досягала в середньому 7,7 м і могла

сягати максимуму 13 м при окремих переходах. При цьому в межах окремого проходу значення затримки залишалося стабільним. Подібну затримку можна компенсувати за допомогою функції попереднього прогнозування на моніторі, проте для її правильного налаштування оператор повинен бути обізнаний про наявність та величину таких відхилень.

Карта висіву (рис. 4b), сформована на основі зібраної інформації, демонструє підтвердження вищезазначених спостережень щодо оперативного реагування швидкості руху агрегату (помітні різкі колірні переходи), якщо порівнювати її з картою, відтвореною на дисплеї терміналу трактора (рис. 4a). Аналіз співвідношення між рецептурною картою (Rx) та реальною картою посіву (рис. 3) засвідчує, що після досягнення технологією VRS заданого рівня густоти стояння рослин, система забезпечувала належну якість внесення насіння щонайменше до моменту появи наступної зміни норми висіву.

Водночас були зафіксовані певні розбіжності у значеннях розрахованої та фактичної густоти висаджених культур на окремих ділянках поля. Проте, незважаючи на це, між реальними даними та картами формату «як висіяно», відображеними на моніторі техніки, загалом простежувалися подібні загальні закономірності (збіг кольорових зон), що чітко видно на рис. 4. Зображені відмінності між цими двома просторовими шарами свідчать про те, що межі багатокутників на карті є результатом усереднення отриманих значень у межах кожної з відповідних геометричних областей.

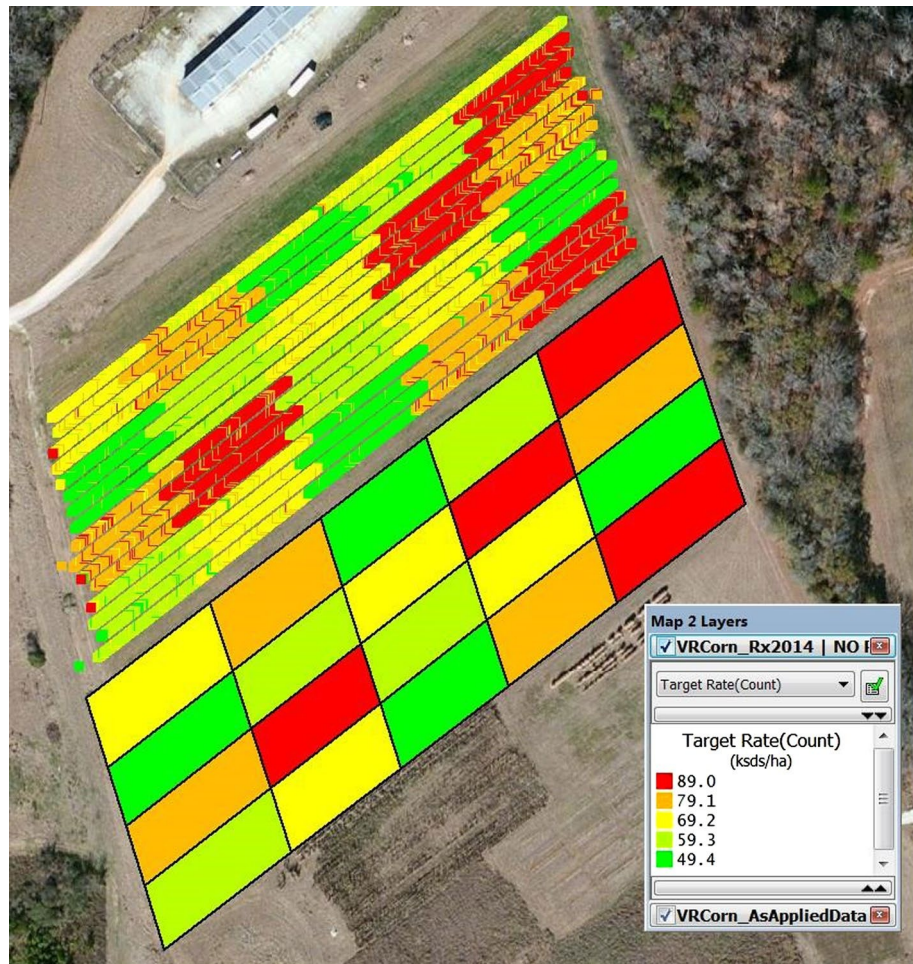


Рис. 3 - Паралельне порівняння між (а) картою завданням (Rx) і (б) фактичною картою посіву, згенерованою системою збору даних

Такий результат викликає певні побоювання, оскільки, незважаючи на загальні світові тенденції (як максимальні, так і мінімальні значення) щодо оцінених параметрів популяції посівів, карта не демонструє справжнього просторового розподілу ефективності роботи висівного обладнання, який можна побачити лише на реальній карті висіву. Було зафіксовано, що жодна з карт внесення насіння (рис. 3б, 4б) не містить докладних відомостей про те, у який момент часу фактично відбувалися зміни норми висіву. Це свідчить про те, що такі карти не відображають реальну посадку (встановлені норми) на конкретних ділянках поля, що ускладнює можливість оперативно здійснювати коригування параметрів під час роботи в системах VRS. Отже, виникла помітна різниця між інформацією, яку оператор бачить на дисплеї у кабіні, та фактичними

результатами висіву, що найімовірніше є наслідком використання алгоритмів усереднення і специфічного просторового представлення даних (наприклад, у формі багатокутників), прийнятих у технологіях VRS. Необхідно проводити додаткові дослідження, щоб глибше оцінити точність і достовірність даних висіву, які генеруються іншими типами моніторів та дисплеїв, проте вже отримані результати підкреслюють потребу у створенні карт вищої деталізації та роздільної здатності для ефективного застосування VRS. Високоякісні постпосівні дані, що забезпечать відображення суттєвих характеристик роботи висівного агрегата, стануть особливо важливими для обладнання, яке використовують у змінних нормах висіву, зокрема в умовах значної просторової неоднорідності ґрунтових властивостей на полі.

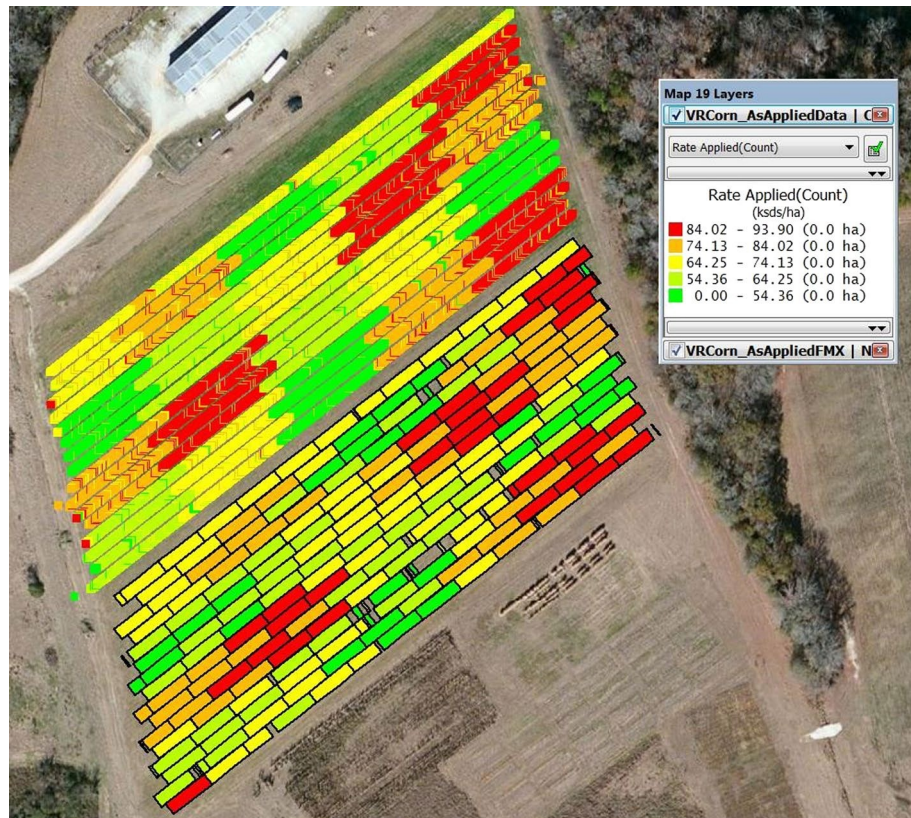


Рис. 4 - Паралельне порівняння між (а) даними посіву, згенерованими на дисплеї віртуальної реальності в кабіні (багатокутне представлення), та (б) фактичною картою посіву, згенерованою системою збору даних (точкове представлення)

Узагальнюючи результати, слід зазначити, що, попри проведення дослідження лише протягом одного вегетаційного періоду, воно чітко

демонструє значущість правильного регулювання параметрів висівної техніки, які впливають на формування остаточної густоти стояння, рівномірність відстаней між рослинами та, як наслідок, на якість появи сходів. Всі ці показники мають обов'язково братися до уваги в межах стратегії VRS, оскільки ефективність роботи сівалки відіграє ключову роль у реалізації технології змінних норм висіву. Отримані дані вказують на суттєві труднощі застосування єдиного налаштування посівного агрегату на ґрунтах з різними фізичними характеристиками, що спричинило зміни глибини загортання насіння на межах одного поля.

Практична глибина закладання насіння визначалась передусім установкою глибини та величиною притискного зусилля сошника, що є доволі логічним, проте оператори часто стикаються з проблемами контролю цих показників як під час переходу між ділянками з різною структурою, так і в межах одного поля. Нехтування точністю налаштувань може викликати відхилення у нормі висіву, нерівномірність інтервалів між насінинами та коливання глибини посіву в окремих зонах, що нівелює ключову ідею VRS і ускладнює достовірну оцінку її впровадження. Тому для подальшого розвитку машин, здатних автоматично змінювати глибину посіву, необхідне стабільне забезпечення запроєктованої глибини без значних коливань, що досягається правильним регулюванням техніки та своєчасними польовими перевітками цих параметрів.

Технологія варіативного висіву поступово вдосконалювалася завдяки розвитку електронних систем, які нині забезпечують оперативну зміну норм висіву в режимі реального часу. Це дослідження підтвердило високу швидкість реакції контролера при переходах між зонами з різними значеннями норми, однак картографічні дані, що відображали внесену норму, демонстрували затримку під час перетину меж керованих зон, причому в залежності від напрямку руху ця затримка змінювалася. Використання функцій прогнозування у налаштуваннях термінала може мінімізувати це відставання, реалізувавши корекцію переходу до межі

керуючої зони. Хоча сучасні дисплеї точного землеробства, що показують у реальному часі сингуляцію, густоту та інші параметри посіву, вже сприяють підвищенню якості висіву, фахівці, що надають послуги впровадження VRS, повинні добре розуміти специфіку встановлення та обмеження робочих механізмів, аби гарантувати успішну реалізацію та коректний аналіз результатів.

Оскільки в аграрній галузі стрімко розвиваються технології обробки великих масивів даних, точність інформації про процес сівби стає критично важливою. Результати експерименту доводять необхідність вдосконалення післяпосівних шарів даних, аби вони достовірно характеризували реальні показники, такі як отримана густота рослин на полі. Можливо, у найближчій перспективі знадобляться інформаційні шари, що відображатимуть ширший спектр параметрів, а не лише чисельність рослин, адже просторові відмінності на полях кукурудзи є дуже значними.

Висока якість даних про посів необхідна фермерам, які користуються сервісами управління агроінформацією для прийняття рішень стосовно оптимального використання ресурсів, налаштування техніки та планування агрозаходів. Документування ключових чинників, що впливають на рівномірність появи сходів — таких як глибина, інтервальна рівномірність та цільова норма висіву — забезпечить правильність висновків під час оцінювання ефективності застосування VRS або інших випробувань, присвячених удосконаленню технологій вирощування кукурудзи.

## ВИСНОВКИ

Метою проведеної роботи було дослідження польової ефективності сівалки щодо максимально точного розташування насіння у ґрунті та досягнення необхідного інтервалу між ними з урахуванням оптимальної густоти рослин, що є важливим елементом підтримки технології VRS у вирощуванні кукурудзи за сучасних методів посіву. Своєчасний та вирівняний вихід рослин на поверхню, мінімальні відхилення глибини загорання, підвищена однорідність просторового розташування культур, швидке реагування системи на зміни швидкості руху агрегату, а також деталізована карта висіву, яка точно демонструє реальні умови роботи техніки на полі — усі ці параметри характеризують високу якість польового функціонування сівалки, що є важливим для впровадження сучасних систем, здатних виконувати змінні норми висіву.

Результати проведеної роботи показали, що досягнута глибина закладення зерна залежала як від встановленого положення заглиблювачів, так і від величини притискного зусилля, спрямованого на опорні колеса. У двох досліджуваних локаціях фактична глибина загорання відрізнялася від запланованої: у випадку 25 мм вона була більшою, тоді як при цільовій глибині 51 мм — меншою, що вказує на чутливість процесу до регулювань техніки та властивостей ґрунту.

На першій ділянці встановлена глибина загорання вплинула на дружність проростання насіння, тоді як на полі 2 подібний ефект не був виявлений ані для глибини, ані для рівня притискної сили. Відмінності у відсотку сходів на полі 1 між різними глибинами були статистично підтвержені, у той час як на полі 2 подібних відмінностей не фіксували. Загалом, схожість коливалася в межах 94–97% на обох ділянках незалежно від різних варіантів притиску.

На полі 3, де випробували технологію змінної швидкості висіву, було встановлено, що перехід між різними темпами руху займав менше ніж 1 секунду, незалежно від амплітуди зміни швидкості. Час корекції норми

насіння також не демонстрував стабільних закономірностей, що вказує на достатньо швидку реакцію та сталу роботу системи VRT, встановленої на такій сівалці.

Разом із тим було зафіксовано певне відставання у момент змінювання робочої швидкості при перетині меж зон різних норм висіву, і цей показник залежав від напрямку руху. При пересуванні зі сходу у бік заходу середня затримка становила приблизно 7,7 м, тоді як при переміщенні із заходу на схід — близько 3,8 м. Це дозволяє зробити висновок, що оператори повинні ретельно встановлювати параметри сівалки та екранного обладнання, точно зазначаючи місце розташування антени GPS щодо висівного апарата та вводячи належне випередження для коригування норм. Помилки в налаштуваннях здатні призвести до зміщення зон із різними густотами, що спричинить нерівномірну кінцеву популяцію кукурудзи.

Випробувані два різні висівні механізми під час експериментів зі змінною нормою демонстрували близькі показники щодо точності дозування насіння, варіабельності відстані між рослинами та польової появи сходів на різних швидкостях роботи агрегату. Із підвищенням швидкості збільшувалися значення коефіцієнта варіації по дистанції між рослинами, хоча істотної залежності між частотою обертів апарата та CV або показниками польової схожості здебільшого не було. Винятки спостерігали для найменшої швидкості 15,4 об/хв і швидкостей 37,2; 38,2 і 43,0 об/хв у випадку системи Precision Planting eSet.

Показники появи культур коливалися у межах 94–99% для John Deere St. та 94–98% для Precision eSet. Незважаючи на те, що у цьому дослідженні статистично достовірного впливу швидкості дозування на однорідність між рослинами не виявили, варто зазначити, що якість подачі насіння може знижуватися при високих швидкостях незалежно від застосованого типу апарата, причому такі відхилення не завжди коректно відображаються у картах посіву.

Автори дослідження припустили, що сучасні посівні технології повинні формувати високо деталізовані карти стану посіву, які дають реальне уявлення про результат роботи в полі. Проте застосовані комерційні системи надавали тільки загальну інформацію щодо густини, не відображаючи коректно моментів зміни норми, точного просторового розташування рослин, реальної змінюваності глибини загорання чи притискної сили.

З огляду на отримані висновки рекомендовано забезпечувати оптимальні налаштування сівалки та монітора управління, аби одержати точне розміщення насіння у ґрунті й виконати вимоги VRS-технології. У підсумку, впровадження систем змінної густоти висіву в кукурудзівництві потребує належного калібрування VR-обладнання, щоб підтримувати відповідний рівень загорання зерна й отримати необхідну кінцеву щільність рослин, водночас виникає потреба вдосконалення післяпосівних карт із включенням додаткових характеристик, таких як притискне зусилля та глибина загорання.

## 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-pereviryaty-skhozhist-nasinnia-pered-posivom>.
3. Алієв Е. Б. Чисельне моделювання сповільнювача насіння пневматичної сівалки точного висіву / Ельчин Бахтияр огли Алієв, Петро Євгенійович Безверхній // Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин. Загальнодержавний міжвідомчий науково-технічний збірник / Кіровоградський національний технічний університет. - 2022. - Вип. 52. - С. 86 - 98.
4. Y. Ding, L. Yang, X. He, T. Cui, B. Qi, W. Zhang, Ch. Xie, Zh. Du, Y. Li, D. Zhang, Development and performance evaluation of an automatic section control system for corn precision planters, Computers and Electronics in Agriculture, Vol. 206, 2023, 107670, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.107670>.
5. W. Wang, W. Shi, C. Liu, Y. Wang, L. Liu, L. Chen. Development of automatic wheat seeding quantity control system based on Doppler radar speed measurement, Artificial Intelligence in Agriculture, Vol. 15, Issue 1, 2025, pp 12-25, <https://doi.org/10.1016/j.aiia.2024.12.001>.
6. 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.

7. 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://agrobusiness.com.ua/2017-09-29-05-56-43/item/11904-yakist-vysivu-soniashnyku-94protsent-abo-tempo-f-sivalka-iaku-potribno-rozumity.html>.

8. 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-strokiv-ta-norm-visivu-na-urojaynist-sonyashnika>.

9. Сіяти соняшник зі змінною нормою чи ні? Результати досліджу 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/>.

10. 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>.

11. 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/>.

12. 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.

13. 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>.

14. 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/).
15. 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.
16. 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>.
17. Правильний посів: основні фактори, що впливають на врожайність під час сівби польових культур. [Електронний ресурс] // AgroDay. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://agroday.com.ua/2019/05/14/pravylnyj-posiv-osnovni-factory-shho-vplyvayut-na-vrozhajnist-pid-chas-sivby-polovyh-kultur/>.
18. 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>.
19. 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/>.
20. Спосіб оцінки точності висіву [Електронний ресурс] / О.Банний, А. Новицький, С. Карабиньощ, Ю. Новицький // Пропозиція, № 5. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://propozitsiya.com/ua/sposib-ocinky-tochnosti-vysivu>.
21. Shannon D., Clay E., Kitchen N. (2018). Precision Agriculture Basics. American Society of Agronomy, Incorporated, 230p.

22. Jupp L. (2018). Precision Farming From Above. Writing Matters Publishing, 113 p.
23. 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.
24. Delta Force [Електронний ресурс] // Precision Planting. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.precisionplanting.com/products/product/deltaforce>.
25. Збірник методик з використання машин в землеробстві /За ред. Мельника В. І. – Харків: “Промпроект” – 2020, 257 с